HAL
open science

Régulation et prévision de l'ingestion des chèvres laitières au pâturage

Alexia Charpentier

To cite this version:

Alexia Charpentier. Régulation et prévision de l'ingestion des chèvres laitières au pâturage. Biologie animale. Université de Poitiers, 2018. Français. NNT : . tel-02788770

HAL Id: tel-02788770

https://hal.inrae.fr/tel-02788770v1

Submitted on 5 Jun 2020

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.

THESE

Pour l'obtention du Grade de
DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE POITIERS
(Faculté des Sciences Fondamentales et Appliquées)
(Diplôme National - Arrêté du 25 mai 2016)

Ecole Doctorale : Sciences pour l'Environnement GAY LUSSAC

Secteur de Recherche : *Biologie des organismes, Biotechnologies animales, végétales et microbiennes*

Présentée par :

Alexia CHARPENTIER

****

Régulation et prévision de l'ingestion des chèvres laitières au pâturage

****

Directeur de Thèse : François GASTAL

Co-Directeurs de Thèse : Rémy DELAGARDE & Hugues CAILLAT

****

Soutenue le 7 Décembre 2018 devant la Commission d'Examen

****

JURY

René BAUMONT	Directeur de Recherche INRA - VetAgro Sup, UMR Herbivores	Rapporteur
Magali JOUVEN	Maître de Conférences INRA - Montpellier SupAgro, UMR SELMET	Rapporteur
Sylvain PLANTUREUX	Professeur Université de Lorraine – ENSAIA, UMR EA	Examinateur
Laurence PUILLET	Chargée de Recherche INRA - AgroParisTech, UMR MoSAR	Examinatrice
François GASTAL	Directeur de Recherche INRA, UE FERLUS	Directeur de thèse
Rémy DELAGARDE	Ingénieur de Recherche INRA – Agrocampus Ouest, UMR PEGASE	Directeur de thèse

Remerciements

Qui l'aurait cru ?! Moi refusant de faire des grandes études et finissant Docteur ! Comme quoi lorsque l'on trouve sa voie et que l'on est entouré de personnes merveilleuses pour soutenir nos projets et croire en nos ambitions … Tout est possible !

Bon, qu'on se le dise, une thèse c'est des hauts et des bas, mais tous constructifs. Ainsi, je retire des enseignements de tous les obstacles et mauvais passages qui ont pu se dresser sur ma route, mais je retiens également un immense bonheur de tous les merveilleux moments passés avec chacun de vous ! Grâce à vous tous, j'en ressors grandie.

Je tiens donc à remercier vivement toutes les personnes ayant permis la réalisation de cette thèse, ayant participé de près ou de loin, physiquement ou psychologiquement …

Merci à la Région Nouvelle Aquitaine et au Département PHASE de l'INRA d'avoir accepté de financer cette thèse, ainsi qu'au projet CASDAR CapHerb et au projet PSDR Grand Ouest FLECHE pour leurs participations au financement des expérimentations de ce travail de recherche.

Un merci plus particulier à mes trois directeurs de thèse :

- Rémy Delagarde, qui même après m'avoir supporté pendant 6 mois de stage Master 2 a accepté de me confier cette thèse, qui était pour moi un objectif d'aboutissement de cette première approche menée sur la thématique des chèvres au pâturage, initiée au cours de mon stage de fin d'étude. Merci d'avoir partagé ton savoir du pâturage, de l'ingestion et tes méthodes. Merci pour tes conseils toujours précieux, ta disponibilité sans faille, ton soutien, autant professionnel que personnel. Merci aussi d'avoir toujours su trouver les bons mots et les bons moments pour me motiver, mais aussi me secouer voire m'étriper que ce soit de vive voix ou par email ! Grâce à toi je ressors de ces presque 4 années grandie intellectuellement, méthodiquement, émotionnellement et sachant écrire, ou en tout cas mieux écrire ☺… Quoique, j'ai toujours une grande passion pour les phrases compliquées et à rallonge !
- Hugues Caillat, pour m'avoir accueillie sur Patuchev, d'avoir partagé ton savoir des chèvres, mais aussi d'avoir supervisé et participé à ces 15 jours d'essai un peu chamboule-tout pour tout le monde (homme et animaux), que l'on a toutefois conduit avec succès. Merci pour tous les moments partagés, ainsi que ton implication, que ce soit sur les publications, le mémoire ou la soutenance. Et enfin félicitations pour avoir résisté à mes épines de cactus.
- François Gastal, de m'avoir accueillie au sein de l'UE Ferlus, d'avoir permis mon intégration à toute l'équipe pendant mes différents séjours parmi vous, été comme hiver, pour ton implication dans ma thèse, tes conseils tout du long, ton œil extérieur à la problématique et tes retours, toujours constructifs.

Merci à tous les membres de l'équipe Syslait, sans qui cette thèse n'aurait pas été la même : Rémy Delagarde, Luc Delaby, Nadège Edouard, Philippe Faverdin, Anne-Isabelle Graux, Christine Baratte, Anne-Lise Jacquot, Yannick Le Cozler, Catherine Disenhaus, Nicolas

Bédère, Florence Dufreneix, Rémi Resmond, Yvane Robic, pour tous les moments passés, tous les échanges professionnel ou non, les sorties, les musiques mais aussi la boue et les courbatures (Vive les Irréductibles !!!!).
Pensée particulière aux collègues de bureau et collègues thésards : merci pour votre goût de la décoration, les pauses papotage pour le travail mais aussi souvent pour le commérage, les balades en forêt ou à la mer, les sorties de galeR, merci pour le soutien, et j'allais oublier merci pour les kilos en trop !
Sans oublier les défunts poissons rouges et plantes n'ayant pas survécu à tant d'amour et de soins…RIP !

Un grand merci également à toute l'équipe des Verrines pour votre accueil et votre bonne humeur : Hugues Caillat, Francois Gastal, Françoise Menneteau, Isabelle Gay, Sandra Novak, Vincent Furstoss, Xavier Charrier.
Et Merci à Jérémie Jost pour tes taquineries perpétuelles sur mon caractère de chèvre, les bons moments passés en France ou à l'étranger et toutes les pauses thé forcées ☺ !

Pour tout le travail effectué pour les essais à Méjusseaume :
Merci à Jacques Lassalas pour ton accueil au sein de l'IEPL de Méjusseaume et ton intérêt pour la thèse.
Merci à Philippe Lamberton pour la coordination des essais (pas toujours simple, il faut le dire !) et ton aide précieuse, notamment les dimanches soir de fouilles rectales et les vendredis matin de prises de sang ! Des chantiers laborieux, mais toujours dans la bonne humeur.
Merci à l'équipe Caprine (François, Eric, Antoine) pour votre travail quotidien auprès des chèvres et votre précieuse aide pour la quantité astronomique de mesures.
Avec un remerciement plus particulier à François, mon véritable bras droit des essais pâturage, on aura fait beaucoup ensemble : les clôtures sous toutes les météos, courir après les chèvres, les motofaucheuses, les bricolages divers et variés, les fouilles, les vérifications de distribution de concentrés à rallonge, mais aussi des bons souvenirs des mises bas, séances de biberonnage ainsi que les moments extra-travail, apéro et autres barbecues bien mérités. Malgré quelques coups de gueule et chamailleries, je ne garderai que le meilleur de notre « collaboration ».
Je tiens à remercier également toutes les autres personnes de Méjusseaume pour leur implication dans les essais ou tout simplement leur bonne humeur et les moments partagés durant ces trois années : 'Papy' Daniel, Maryvonne, Jean, Joseph, Arnaud, Gaël, Patrick et Françoise, Jean-Luc, Jean-Yves, Christine, je vous dis une fois encore Merci !

Un grand merci également à toute l'équipe de Patuchev pour ces deux semaines d'essai courtes, intenses et chaudes ! Merci pour votre ouverture d'esprit, votre enthousiasme et votre participation pour cet essai, un peu particulier, et toutes ces nouvelles mesures dans votre système mais que l'on a su conduire efficacement. Merci à Hugues, Benoît, Emilien, Franck, Christian, Fabrice et Nadège.

Enfin merci à Thibaut Le Mouël, Nicole Huchet et Stéphanie Giboulot pour la multitude d'analyses chimiques réalisées avec précision et rapidité chaque année.
Merci aux « stagiaires et apprentis » : Coralie, Solveig, Nina, Marine, Laura, et Maxime, pour votre aide monumentale tout au long de ma thèse, et particulièrement au cours des essais. Merci également pour tous les bons moments d'amitié passés en dehors du travail. Votre soutien qu'il soit physique ou psychologique aura été d'un grand secours pour moi, et je vous en suis éternellement reconnaissante.

Je tiens également à remercier Cécile Ginane, Sylvie Giger-Reverdin, Jérémie Jost et Yves Lefrileux d'avoir accepté de participer à mon comité de thèse, pour vos apports de connaissances spécifiques, qu'elles soient scientifiques ou techniques, que ce soit dans la réflexion des protocoles mais aussi dans l'interprétation des résultats et merci aussi pour vos encouragement tout au long de ce travail.
Merci à René Baumont et Magali Jouven d'avoir accepté le fastidieux mais important travail de rapporteurs, ainsi qu'à Laurence Puillet et Sylvain Plantureux d'avoir été présents en qualité d'examinateurs dans ce jury de thèse. Merci à vous pour ce jour J, pour ces discussions qui ont continué jusqu'au bout d'enrichir cette thèse. Enfin, merci pour ce titre de Docteur tant attendu…. !

Merci également aux amies notamment Marine, Sarah et ma sœur de cœur Betty qui, souvent loin des yeux mais près du cœur, ont été des piliers de soutien pour moi, pour vider mon sac ou simplement me changer les idées, on a souvent partagé nos pots cassés mais sans jamais se laisser abattre… Merci du fond du cœur d'être toujours présentes après tant d'années.

Enfin un grand merci à ma famille et plus particulièrement mes parents qui m'ont toujours soutenue dans mes projets et m'ont donné la force de ne pas abandonner, merci pour votre soutien, vos conseils et votre patience à chaque instant.

Un immense merci à mon chéri Aymeric, qui n'est pas arrivé dans ma vie au moment le plus facile et le plus calme, mais qui a su être patient et conciliant envers moi et cette thèse qui a occupé une grande partie de mon temps et de mon esprit ces derniers mois… Merci d'avoir toujours cru en ma réussite et de m'aimer pour ce que je suis : une chieuse hyperactive mais tellement amoureuse !

Merci à chacun d'entre vous ! Ma réussite c'est également la vôtre !

Avant-Propos

Ce travail de thèse a été financé par la Région Nouvelle Aquitaine et le Département Phase (INRA). Le financement des expérimentations a été appuyé par :

- Le projet Casdar CapHerb (2015-2018) visant à faciliter les transitions des systèmes d'alimentations caprins vers des systèmes plus herbagers et plus conformes aux principes de l'agroécologie ;
- Le projet PSDR (Pour et Sur le Développement Régional) Grand Ouest FLECHE : Fromages et Laits issus d'Elevage de Chèvres conduits à l'Herbe (2015-2019).

Cette thèse a été réalisée au sein de l'UE FERLus (INRA, Lusignan, 86) et de l'UMR PEGASE (INRA, Saint Gilles, 35).

Valorisation de la thèse

Les travaux de cette thèse ont donné lieu à 4 articles scientifiques et 5 communications à des congrès internationaux.

Publications de rang A

Charpentier, A., Delagarde, R., 2018. Milk production and grazing behaviour responses of Alpine dairy goats to daily access time to pasture or to daily pasture allowance on temperate pastures in spring. Small Ruminant Research 162, 48–56.

Charpentier, A., Caillat, H., Gastal, F., Delagarde, R, 2019. Intake, milk yield, and grazing behaviour of strip-grazing Alpine dairy goats in response to daily pasture allowance. Animal, *Accepté en révision modérée le 19/12/18.*

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 supplementation. *Livestock Science, soumis le 13/11/18.*

Charpentier, A., Caillat, H., Gastal, F., Delagarde, R., 2019. Effect of daily access time to pasture and to dehydrated lucerne supplementation on intake, milk production and grazing behaviour responses of strip-grazing dairy goats.
Grass and Forage Science, en préparation.

Communications à des congrès internationaux

Communications orales

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. 23ème Rencontres Recherches Ruminants, 7-8/12/2016, Paris, France, 23, 251-254.

Delagarde, R., Belarbre, N., **Charpentier, A.,** 2018a. Accuracy of the ytterbium-faecal index method for estimating intake of pasture-fed dairy goats. In Sustainable meat and milk production from grasslands Proceedings of the 27th General Meeting of the European Grassland Federation Cork, Ireland, 17-21 June 2018, Grassland Science in Europe, 23, 419–421.

Posters

Charpentier, A., Mendowski, S., Delagarde, R., 2017. Prediction of in vivo digestibility of pasture-based diets in dairy goats from faecal indicators. In Grassland resources for extensive farming systems in marginal lands: major drivers and future scenarios. Proceedings of the 19th Symposium of the European Grassland Federation, Alghero, Italy, 7-10 May 2017, Grassland Science in Europe, 22, 533–535.

Delagarde, R., Piriou, M., **Charpentier, A.**, 2018b. The recording of grazing time of dairy goats is accurate by using the Lifecorder Plus device. Proceedings of the 10th International Symposium on the Nutrition of Herbivores. Clermont-Ferrand, France. Advances in Animal Biosciences 9, 417.

Caillat, H., **Charpentier, A.**, Ranger, B., Bruneteau, E., Boisseau, C., Delagarde, R., 2018. Variabilité interindividuelle de l'ingestion d'herbe par des chèvres laitières au pâturage. 24ème Rencontres Recherches Ruminants, 5-6/12/2018, Paris, France.

Liste des abréviations

Français / *Anglais*

ADF		Teneur en Fibres au Détergent Acide /*Acid Detergent Fiber*
ADL		Teneur en Lignine au Détergent Acide / *Acid Detergent Lignin*
BIOM		Biomasse
CI		Capacité d'ingestion
DI		Durée d'ingestion
dMO	*OMD*	Digestibilité de la Matière Organique / Organic Matter Digestibility
EM		Energie Métabolisable
EMP	*MPE*	Erreur Moyenne de Prévision / *Mean Predictive Error*
ETR	*RSE*	Ecart-type résiduel / Residual Standard Error
HEcc		Hauteur Entrée corrigée de la croissance
HI	*PI*	Herbe ingérée / *Pasture intake*
PLB		Production Laitière Brute
PLS	*FCM*	Production laitière standardisée / *Fat Corrected Milk*
MAT	*CP*	Matière Azotée Totale */ Crude Protein*
MO	*OM*	Matière organique */ Organic Matter*
MS	*DM*	Matière Sèche / *Dry Matter*
NDF		Teneur en Fibres au Détergent Neutre / *Neutral Detergent Fiber*
NEC		Note d'Etat Corporel
PDI		Protéines Digestibles dans l'Intestin / *Metabolisable Protein*
PV	*BW*	Poids vif / Body weight
$PV^{0,75}$	$BW^{0.75}$	Poids vif métabolique */ Metabolic weight*
QI		Quantité ingérée totale
QO	*PA*	Quantité d'herbe offerte / *Pasture Allowance*
SCE		Somme des Carrés des Ecarts
	SEM	*Standard Error of the Mean*
Sg		Taux de Substitution global
TA	*AT*	Temps d'accès au pâturage / *Access Time to pasture*
TB		Taux butyreux du lait
TP		Taux protéique du lait
TS		Taux de substitution
UEL		Unité d'Encombrement Lait
UFL		Unité Fourragère Lait
VI		Vitesse d'ingestion */ Pasture intake rate*
VE		Valeur d'Encombrement
Yb		Ytterbium
	NEFA	Acides Gras Non Estérifiés / *Non-Esterified Fatty Acids*

Sommaire

Chapitre 1 : Introduction générale 1

Chapitre 2 : Synthèse bibliographique 7

I. Introduction 8
II. Rappel des facteurs de variation de l'ingestion des chèvres à l'auge 9
II.1 Facteurs d'origine animale 9
II.1.1 Effet race 9
II.1.2 Effet du poids vif 10
II.1.3 Niveau de production laitière 11
II.1.4 Stade de lactation et parité 11
II.1.5 Stade de gestation 12
II.1.6 Effet de l'état corporel 12
II.2 Facteurs d'origine végétale 13
II.2.1 Espèces végétales et stade physiologique 13
II.2.2 Valeur nutritive et composition chimique 14
II.3 Facteurs liés à la complémentation 15
II.3.1 Complémentation en concentrés 15
II.3.2 Complémentation en fourrages 16
III. Effet de la gestion du pâturage sur l'ingestion et les performances des chèvres 17
III.1 Système de pâturage 17
III.2 Le temps d'accès journalier au pâturage 18
III.2.1 Effet du temps d'accès sur l'ingestion 20
III.2.2 Effet du temps d'accès sur le comportement alimentaire 20
III.2.3 Effet du temps d'accès sur la production laitière et la composition du lait ... 23
III.2.4 Effet d'interactions entre le temps d'accès et d'autres facteurs 24
III.2.5 Conclusions sur l'effet du temps d'accès 24
III.3 La disponibilité en herbe au pâturage 25
III.3.1 Effet du chargement 25
III.3.1.1 Effet du chargement sur l'ingestion 26
III.3.1.2 Effet du chargement sur le comportement d'ingestion *28*
III.3.1.3 Effet du chargement sur la production laitière et la composition du lait *28*
III.3.1.4 Effet du chargement sur la variation de poids vif *29*
III.3.2 Effet de la quantité d'herbe offerte 30
III.3.3 Effet de la hauteur d'herbe 30
III.3.3.1 En pâturage continu 30
III.3.3.2 En pâturage tournant 31
III.3.3.3 Conclusions sur l'effet de la disponibilité en herbe 32
III.4 Effet de la complémentation au pâturage 32

III.4.1 Effet de la complémentation sur l'ingestion 32
III.4.2 Effet de la complémentation au pâturage sur la production et la composition du lait 32
III.4.3 Conclusion de l'effet de la complémentation au pâturage 33
IV. Conclusion 34

Chapitre 3 : Questions et stratégies de recherche 35

Chapitre 4 : Matériels et méthodes 41

I. Essais, traitements et schémas expérimentaux 42
I.1 Essais sur le temps d'accès et la complémentation (1TA, 2TA et 3TA) 42
I.2 Essais sur la quantité d'herbe offerte 44
I.3 Essais sur la variabilité interindividuelle 44
II. Animaux et conduite d'élevage 45
II.1 Constitution des lots 45
II.2 Conduite des animaux 46
II.3 Prairies et gestion du pâturage 46
III. Mesures sur les animaux 49
III.1 Production laitière et composition du lait 49
III.2 Poids vif 49
III.3 Métabolites sanguins 50
III.4 Estimation des quantités ingérées d'herbe 50
III.5 Enregistrement du comportement alimentaire d'ingestion 52
IV. Mesures sur les prairies et les aliments 54
IV.1 Biomasse et densité 54
IV.2 Composition chimique de l'herbe offerte 54
IV.3 Hauteur Herbomètre en entrée et sortie de parcelle 54
IV.4 Hauteur des talles étirées 55
IV.5 Proportion de la surface piétinée 56
IV.6 Composition chimique de l'herbe ingérée 56
IV.7 Composition botanique 56
IV.8 Teneur en MS des compléments 57
V. Analyses chimiques 57
VI. Analyses statistiques 57

Chapitre 5 : Effet du temps d'accès et de la complémentation 59

I. Essai 1TA : Réponse laitière et adaptation comportementale des chèvres laitières à une restriction du temps d'accès au pâturage 60
Résumé 60

Abstract 62
1. Introduction 62
2. Materials and methods 62
2.1. Experiments, treatments and experimental design 62
2.2. Goats 63
2.3. Pastures and grazing management 63
2.4. Feed and pasture measurements 64
2.5. Animal measurements 64
2.6. Chemical analyses 65
2.7. Statistical analyses 65
3. Results 65
3.1. Weather and pasture growth 65
3.2. Pre-grazing pasture characteristics 66
3.3. Grazing management and post-grazing pasture characteristics 66
3.4. Animal performance 67
3.5. Grazing behaviour 67
4. Discussion 67
5. Conclusion 69
Acknowledgements 69

II. Essai 2TA : Réponses d'ingestion, de production laitière et adaptation comportementale des chèvres laitières à une restriction du temps d'accès au pâturage et à une complémentation en luzerne déshydratée 70
Résumé 70
Abstract 72
1. Introduction 72
2. Materials and methods 73
2.1. Treatments 73
2.2. Goats 73
2.3. Pastures and grazing management 63
2.4. Feed and pasture measurements 74
2.5. Animal measurements 74
2.5.1. Milk production and body weight 74
2.5.2. Intake and energy balance 74
2.5.3. Blood metabolites 75
2.5.4. Grazing behaviour 75
2.6. Chemical analyses 75
2.7. Statistical analyses 75
3. Results 76
3.1. Weather 76
3.2. Pre-grazing pasture characteristics 76

3.3. Grazing management and post-grazing pasture characteristics 76
3.4. Milk production, milk composition and body weight 77
3.5. Faecal output, diet OM digestibility, intake and energy balance 77
3.6. Blood metabolites 78
3.7 Grazing behaviour 78
4. Discussion 78
5. Conclusion 80
Acknowledgements 80

III. Essai 3TA : Effet d'une restriction du temps d'accès au pâturage et d'une complémentation en luzerne déshydratée sur l'ingestion, la production laitière et l'adaptation comportementale des chèvres laitières 81
Résumé 81
Abstract 84
1. Introduction 84
2. Materials and methods 84
2.1. Treatments 85
2.2. Goats 85
2.3. Pastures and grazing management 85
2.4. Feed and pasture measurements 86
2.5. Animal measurements 86
2.5.1. Milk production and body weight 86
2.5.2. Intake and energy balance 86
2.5.3. Blood metabolites 87
2.5.4. Grazing behaviour 87
2.6. Chemical analyses 87
2.7. Statistical analyses 87
3. Results 88
3.1. Weather 88
3.2. Pre-grazing pasture characteristics 88
3.3. Grazing management and post-grazing pasture characteristics 88
3.4. Milk production, milk composition and body weight 89
3.5. Faecal output, diet OM digestibility, intake and energy balance 89
3.6. Blood metabolites 90
3.7. Grazing behaviour 90
4. Discussion 91
5. Conclusion 92
Acknowledgements 93

Chapitre 6 : Effet de la quantité d'herbe offerte 95

I. Essai 1QO : Réponse laitière et adaptation comportemental des chèvres à une restriction de la quantité d'herbe offerte au pâturage 96
Résumé 96
Abstract 98
1. Introduction 98
2. Materials and methods 98
2.1. Experiments, treatments and experimental design 98
2.2. Goats 99
2.3. Pastures and grazing management 99
2.4. Feed and pasture measurements 99
2.5. Animal measurements 100
2.6. Chemical analyses 100
2.7. Statistical analyses 101
3. Results 101
3.1. Weather and pasture growth 101
3.2. Pre-grazing pasture characteristics 101
3.3. Grazing management and post-grazing pasture characteristics 102
3.4. Animal performance 102
3.5. Grazing behaviour 102
4. Discussion 103
5. Conclusion 104
Acknowledgements 104

II. Essai 2QO : Ingestion, production laitière et adaptation comportementale des chèvres laitières à une restriction de quantité d'herbe offerte 105
Résumé 105
Abstract 107
1. Introduction 107
2. Materials and methods 107
2.1. Treatments and experimental design 107
2.2. Goats 108
2.3. Pastures and grazing management 108
2.4. Feed and pasture measurements 108
2.5. Animal measurements 109
2.5.1. Milk production and body weight 109
2.5.2. Intake and energy balance 109
2.5.3. Blood metabolites 110
2.5.4. Grazing behaviour 110
2.6. Chemical analyses 110
2.7. Statistical analyses 110
3. Results 111

3.1. Weather 111
3.2. Pre-grazing pasture characteristics 111
3.3. Grazing management and post-grazing pasture characteristics 111
3.4. Milk production, milk composition and body weight 112
3.5. Faecal output, diet OM digestibility, intake and energy balance 112
3.6. Blood metabolites 112
3.7. Grazing behaviour 112
3.8. Parasitic status 112
4. Discussion 113
4.1. Effect of PA on pasture intake 113
4.2. Effect of PA on grazing behaviour 113
4.3. Effect of PA on milk yield and composition 114
5. Conclusion 114
Acknowledgements 114

Chapitre 7 : Variabilité interindividuelle de l'ingestion et du comportement alimentaire des chèvres laitières au pâturage 115

Résumé 116
1. Introduction 116
2. Matériels et méthodes 117
3. Résultats 119
3.1. Caractéristiques de la prairie avant et après pâturage 119
3.2. Digestibilité du régime et ingestion 119
3.3. Production laitière, composition du lait, poids vif et NEC 119
3.4. Comportement alimentaire 120
4. Discussion 120
4.1 Prévision de l'ingestion totale en fonction des caractéristiques individuelles 120
4.2. Relation entre comportement alimentaire et ingestion d'herbe 122
5. Conclusion 122

Chapitre 8 : Discussion générale 123

Introduction 124
I. L'utilisation de méthodes validées et précises 124
I.1. Estimation de l'ingestion 125
I.1.1. Prévision de la digestibilité in vivo 125
I.1.2. Précision de la méthode Ytterbium/index fécaux 126
I.2. Enregistrement du comportement alimentaire 127
II. Effet du temps d'accès et de la complémentation 128
II.1. Apport des essais et cohérence avec la littérature 128
II.2. Modélisation de la réponse des chèvres au temps d'accès 132

II.2.1. Constitution de la base de données 132
II.2.2. Choix des types d'équations et des contraintes 133
II.2.3. Modèles prévisionnels de l'ingestion d'herbe et de l'ingestion totale 134
II.2.4. Modèles prévisionnels des variables comportementales 137
II.2.5. Modèle prévisionnel de la production laitière 138
Conclusion 138
III. Effet de la quantité d'herbe offerte 139
III.1. Apports des essais et cohérence avec la littérature 139
III.2. Application du modèle d'estimation de l'effet de la QO sur l'ingestion pour les vaches et les chèvres laitières (INRA, 2018) 142
Conclusion 145
IV. Variabilité interindividuelle 145
IV.1. Constitution d'une base de données individuelle inter-essais 146
IV.2. Description de la base de données et relations entre les variables 146
IV.3. Variation de l'ingestion totale en fonction des caractéristiques individuelles des chèvres 148
Conclusion 149

Chapitre 9 : Conclusion générale 151

Références bibliographiques 155

Annexes 165

Chapitre 1 : Introduction générale

En France, 88 % des élevages caprins basent leur système d'alimentation fourragère sur de l'herbe, mais seulement 30 % des exploitations caprines pratiquent le pâturage pour alimenter leurs chèvres (Caillat et al., 2016). D'après une synthèse de Bossis (2012), au début des années 2010, seulement 16 % des éleveurs caprins livreurs pratiquent le pâturage sur prairies et 10 % pratiquent le pâturage sur parcours. Ces chiffres sont respectivement de 30 % et 37 % pour les éleveurs caprins transformant le lait directement à la ferme. Ainsi dans le Grand Ouest, qui représente près de 70 % de la collecte nationale de lait de chèvre, il est estimé que seulement 5 % des élevages de plus de 100 chèvres pratiquent le pâturage (Bossis, 2012). De plus, comparé aux élevages bovins laitiers, les élevages caprins laitiers ont une faible autonomie alimentaire en termes de matière sèche de fourrage et concentrés (61 *vs* 82 %) et surtout en termes de protéines (38 % *vs* 60 % ; Brocard et al., 2016). Dans un contexte de fluctuation des prix des intrants, d'une demande croissante en produits à base de lait de chèvre notamment dans le respect de l'environnement et des animaux et ainsi, de développement de l'agriculture biologique, le pâturage a l'opportunité de retrouver une place plus importante dans l'alimentation des chèvres laitières du Grand Ouest.

Cependant, les connaissances sur le pâturage des chèvres en prairies semées et sous climat tempéré comme dans l'Ouest de la France manquent. Dans sa synthèse sur la nutrition des chèvres, Morand-Fehr (2005) fait état des connaissances de plus en plus précises sur l'ingestion des chèvres à l'auge, sur le comportement alimentaire des chèvres et sur la complémentation idéale au pâturage, mais le plus souvent sur parcours ou en milieu tropical. Il met aussi en avant le manque d'informations scientifiques sur l'utilisation des prairies herbacées par les chèvres et il n'est pas du tout abordé l'impact de la gestion du pâturage sur l'ingestion et les performances des animaux.

L'alimentation des ruminants au pâturage est complexe car même si la capacité d'ingestion dépend comme à l'auge des facteurs liés à l'animal et au fourrage, d'autres facteurs liés directement à la gestion du pâturage et souvent qualifiés de « facteurs non-nutritionnels » interagissent sur l'ingestion réelle (Poppi et al., 1987; Delagarde et al., 2001).

Les principaux facteurs que sont la quantité d'herbe offerte et le temps d'accès influence l'ingestion car ils définissent la disponibilité de l'herbe à être consommée (Delagarde et al., 2001).

Si l'effet de ces facteurs sont quantifiés en vaches laitières, et intégrés dans des logiciels de rationnement au pâturage (Delagarde et al., 2011 ; Pérez-Prieto et Delagarde, 2013), ce n'est pas le cas en chèvres à ce jour.

De plus, la chèvre est souvent définie comme une espèce très sélective, notamment du fait de sa mâchoire plus fine que les autres ruminants qui lui permet cette mécanique de choix (Prache et Peyraud, 2001). Elle est souvent classée dans la catégorie des herbivores « consommateurs intermédiaires ou opportunistes », entre les consommateurs d'herbe et de fourrages (bovins et ovins) et les sélectionneurs de concentrés (Avondo et al., 2008). Les consommateurs intermédiaires sont connus pour adapter leur comportement alimentaire en fonction de la saison et des changements de disponibilité, surtout dans le cas de prairies naturelles avec présence d'espèces ligneuses (Fedele et al., 1993; Celaya et al., 2007). Dans le cas de prairies semées de type ray-grass anglais/trèfle blanc, la chèvre semble plus sensible que les autres espèces et notamment les bovins à une réduction de biomasse. En effet, d'après une étude de Collins et Nicol (1986), pour une biomasse de départ identique pour chaque espèce, la réduction d'ingestion avec la réduction de biomasse est plus rapide chez les chèvres que chez les moutons et les vaches. Ces constats renforcent le besoin de quantification de la réponse des chèvres à des variations de pratiques de gestion du pâturage.

Pour ce qui est du temps d'accès journalier à la pâture, si dans les systèmes étrangers de production de viande caprine, le pâturage continu pendant 24 h est le plus répandu, le temps d'accès est souvent réduit dans les systèmes laitiers permettant une sortie des animaux le jour entre les deux traites (Bonanno et al., 2008). C'est aussi pour des raisons de vol ou de prédation que le pâturage nocturne est peu pratiqué, mais il trouve son intérêt dans les zones de fortes chaleurs en cours de journée (Bonanno et al., 2008). Dans des systèmes plus intensifs, la réduction du temps d'accès au pâturage peut être motivée par des conditions climatiques en début de saison, des contraintes de temps de travail et d'emploi du temps.

La quantité d'herbe offerte quotidiennement (**QO**) aux chèvres au pâturage dépend des surfaces utilisée, du temps de séjour sur les parcelles et du nombre d'animaux. Si les réponses d'ingestion et de production laitière aux variations de la quantité d'herbe offerte sont connues en vaches laitières, c'est le chargement qui est le plus souvent utilisé en chèvres pour caractériser la pression de pâturage. Un même chargement pouvant conduire à

différentes quantités d'herbe offerte suivant les conditions, ce n'est pas un facteur pouvant être utilisé précisément dans la prévision de l'ingestion.

En France, les recommandations actuelles pour les éleveurs caprins laitiers pâturant sont, en l'absence de toute complémentation en foin, d'offrir au moins 3 kg de MS d'herbe/chèvre/jour pour un temps d'accès au pâturage de plus de 10 h/j et une complémentation en concentré ne dépassant pas 700 g MS/j (Lefrileux et al., 2012a). Ces recommandations représentent une offre d'herbe à volonté dans le but de ne pas limiter les chèvres et parce qu'on ne connait pas assez précisément les effets d'une restriction de temps d'accès ou de quantité d'herbe offerte. Dans une volonté d'optimisation de l'utilisation des ressources, une meilleure connaissance des variations de l'ingestion en fonction de ces facteurs de gestion du pâturage, ainsi que le potentiel d'adaptation des animaux à la variation de ces facteurs représentent un véritable enjeu.

Dans cette thèse, nous souhaitons donc comprendre quelle est l'influence des pratiques de gestion du pâturage sur la régulation de l'ingestion et les performances des chèvres laitières ?

Le présent document est constitué de **6 parties principales** : introduction générale, synthèse bibliographique, problématique et questions de recherches, partie expérimentale, discussion générale, et conclusions et perspectives.

La partie bibliographique rappelle les facteurs de variation de l'ingestion d'herbe verte à l'auge puis étudie l'effet des pratiques de gestion du pâturage sur l'ingestion, le comportement alimentaire et les performances. A partir de cette bibliographie nous avons établi la problématique et les questions de recherche à prioriser ainsi que les protocoles expérimentaux pour répondre à ces questions. Au total, ce sont 6 essais qui ont été conduits.

La partie expérimentale sera divisée en 4 parties : un résumé complet en français des matériels et méthodes employés dans les essais, puis une partie décrivant les résultats pour chaque thématique c'est-à-dire l'effet du temps d'accès, de la quantité d'herbe offerte sur l'ingestion, la production laitière et le comportement alimentaire d'ingestion, et l'effet de la variabilité interindividuelle sur l'ingestion. Ces trois parties seront présentées sous forme d'articles en anglais ou français (publiés, soumis ou en cours d'écriture) et chacun précédé d'un résumé en français.

Ensuite seront discutés les méthodes utilisées et développées, la cohérence entre les essais par thématique (TA et QO), le développement d'équations de prévision de l'ingestion lorsque cela est possible, de la production et du comportement en lien avec la bibliographie disponible.

La dernière partie présentera les conclusions et perspectives de ce travail.

Chapitre 2 : Synthèse bibliographique

I. Introduction

L'objectif de cette étude bibliographique est de synthétiser les connaissances actuelles concernant les facteurs de variation de l'ingestion chez les chèvres au pâturage, et de quantifier leurs effets à la fois sur l'ingestion mais aussi sur les performances des animaux qui en découlent. L'ingestion au pâturage est influencée par trois groupes de facteurs : l'animal, les aliments (l'herbe offerte et les compléments) et la gestion du pâturage (**Figure 2.1**).

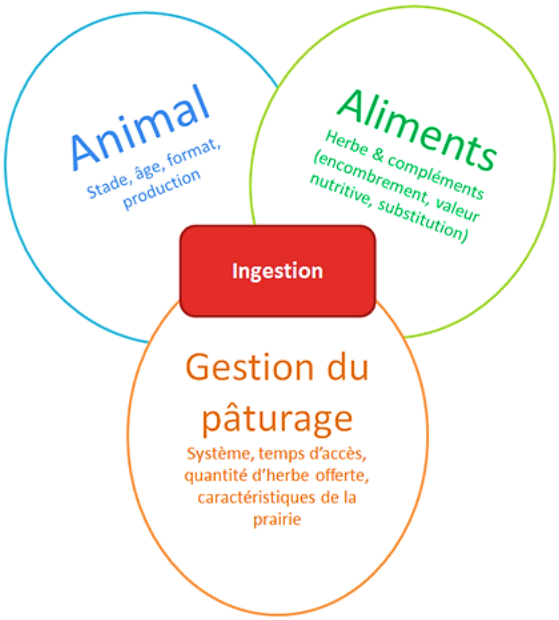

Figure 2.1. Facteurs influençant l'ingestion des ruminants au pâturage

La première partie de cette synthèse est un rappel des facteurs de variation de l'ingestion connus à l'auge que sont les caractéristiques des chèvres, du fourrage et de la complémentation apportée. Ces facteurs vont définir la capacité d'ingestion des chèvres, l'ingestibilité du fourrage (l'herbe dans notre cas) et donc la quantité de matière sèche volontairement ingérée quotidiennement dans le cas où l'herbe est distribuée à volonté. L'ajout d'une complémentation sera également abordé.

La seconde partie de cette synthèse fait le point sur les travaux réalisés en caprins sur les différents facteurs de gestion du pâturage qui définissent la disponibilité en herbe et en temps pour pâturer ainsi que la structure de l'herbe, et qui vont principalement agir sur la facilité de préhension de l'herbe et le comportement d'ingestion. L'influence des conditions de pâturage sur l'ingestion, le comportement d'ingestion, la production laitière, et les variations de poids vif sera illustrée par des graphiques quand les données disponibles

seront suffisantes. Tout comme à l'auge, l'effet de la complémentation sera décrit. Du fait du peu de références disponibles sur les chèvres laitières, les études portant sur les chèvres à viande, suitées et sur les jeunes en croissance seront conservées dans le cas où le pâturage est pratiqué sur des prairies herbacées. Seront exclues les études portant sur du pâturage de parcours comprenant des espèces ligneuses car ces milieux sont considérés comme hétérogènes et complexes (Meuret, 1989) et non abordés dans cette thèse.

II. Rappel des facteurs de variation de l'ingestion des chèvres à l'auge

Comme pour la plupart des autres ruminants, les facteurs affectant l'ingestion des chèvres à l'auge sont à présent connus et quantifiés pour une très grande variété de régimes avec différents types de fourrages, de complémentation et de conditions. Les bases de données permettant par la suite à l'aide de régressions linéaires multiples de définir des équations pouvant servir de modèles de prévision de la quantité ingérée (**QI**). C'est le cas pour les équations 1 à 4 (**Tableau 2.1** ; AFRC, 1998 ; Luo et al., 2004 ; Sauvant et al., 2012). Ces équations tiennent toutes compte des performances et format des animaux et de certains facteurs alimentaires comme la proportion de fourrage ou la teneur en énergie métabolisable de la ration. L'équation 5 (**Tableau 2.1**), est le modèle de prévision de l'ingestion basé sur le système français des unités d'encombrements (UE) développé par l'INRA (INRA, 2010). Selon ce modèle la QI est obtenue à partir de la capacité d'ingestion (CI, en UEL/j) qui tient compte des caractéristiques animales et à partir des caractéristiques de l'herbe et des aliments distribués (valeur d'encombrement : VE ; quantité de concentrés : QI_C ; taux de substitution : Sg).

II.1 Facteurs d'origine animale

II.1.1 Effet race

Dans le système des UE, aucun facteur race n'est utilisé dans l'équation de prévision de la QI (INRA, 2010). La population caprine française étant principalement constituée des deux races laitières Saanen et Alpine (94 % du cheptel national), l'effet race est pris en compte dans les facteurs poids vif et production laitière. Au niveau international, il y a souvent distinction entre ces deux races laitières d'une part, et les races laitières locales

d'autre part. Avondo et al. (2008) ont constaté une plus forte corrélation entre la QI et la production laitière chez les chèvres de race Alpine, et une plus forte corrélation entre la QI et le poids vif chez les races locales méditerranéennes, proposant ainsi une équation de la QI en fonction de la race.

Tableau 2.1 Equations de prévision de l'ingestion proposées dans la littérature sur tous types de rations proposées à l'auge.

N° Eq.	Equation[1]	Références
1 2	**$QI = 0{,}024 \times PV^{0,75} + 0{,}4 \times GMQ + 0{,}42 \times PLS_{35} + 0{,}7 \times PF$** **$QI = 0{,}062\ PV^{0,75} + 0{,}305 \times PLB$**	AFRC (1998)
3	**$QI = 1{,}7317 + 0{,}0095 \times PV + 0{,}4445 \times PLS_{40} - 0{,}0016 \times EM_R + 1{,}3075 \times GMQ$**	Luo et al. (2004)
4	**$QI_F = 1{,}58 + 0{,}168\ (PLB - 2{,}74) + 0{,}0136\ (PV - 54{,}4) - 0{,}0335 \times QI_C^2$**	Sauvant et al. (2012)
5	**$QI_F = (CI - (QI_C \times VE_C))/VE_F$** $CI = [1{,}3 + 0{,}016 \times (PV - 60) + 0{,}24 \times PLS_{35}]$ $VE_C = Sg \times VE_F$ $Sg = 0{,}38 \times QI_C$ $VE_F = 140/QIL$	INRA (2010)

[1] QI (kg/j) : matière sèche ingérée, de fourrage (F) ou de concentrés (C) ; PF (en décimal) : proportion de fourrage ; PV (kg) : poids vif ; $PV^{0,75}$(kg) : poids vif métabolique ; GMQ (kg PV/j): gain moyen quotidien ; PLB (kg/j): production laitière brute ; PLS_{40} ou PLS_{35}(kg/j) : production laitière standard à 4,0 % ou 3,5 % de matière grasse ; EM_R (MJ/kg MS): concentration en énergie métabolisable de la ration ; CI (UEL/j): capacité d'Ingestion; VE (UEL/kg MS): valeur d'encombrement du fourrage (F) ou du concentré (C) ; Sg : taux de substitution global ; QIL (g MS/kg $PV^{0,75}$): ingestibilité du fourrage .

II.1.2 Effet du poids vif

Le poids vif est une des variables toujours intégrées dans les équations de prévision de l'ingestion. A l'âge adulte, l'augmentation de la quantité ingérée avec le poids vif est principalement liée à l'augmentation des besoins d'entretien et des organes digestifs.

D'après les équations 3 et 4 présentées dans le **Tableau 2.1**, une variation de poids vif de 10 kg entraîne une variation de QI dans le même sens de 95 à 136 g MS/j. Selon le modèle INRA (Eq. 5) pour estimer la QI d'herbe (d'une herbe de référence soit 1,0 UEL/kg MS), une variation de poids vif de 10 kg entraîne une variation de QI d'herbe dans le même de 160 g MS/j (**Tableau 2.2**) et variant de 140 à 180 g MS/j selon la valeur d'encombrement de l'herbe utilisée (INRA, 2010). Le poids vif métabolique ($PV^{0.75}$) est parfois utilisé à la place du

poids vif (AFRC, 1998). Dans ce cas, une variation de 10 kg de poids vif entraîne une variation de QI d'herbe dans le même sens de 66 g MS/j (Eq. 1) ou 170 MS/j (Eq. 2). En plus de l'effet du poids vif, la variation quotidienne du poids vif (GMQ) est parfois intégrée au modèle. Une variation de 100 g de PV/j entraîne alors une variation de QI d'herbe dans le même sens de 40 g MS/j (Eq 1) ou 130 g MS/j (Eq. 3).

II.1.3 Niveau de production laitière

Avec le poids vif, la production laitière est le critère le plus utilisé pour prévoir la QI des chèvres en lactation. D'après les équations 1, 2 et 3, une variation de 1 kg de lait (PLB ou PLS_{35} ou PLS_{40}) entraîne une variation moyenne de QI dans le même sens, de 305 à 445 g de MS/j. Une variation de 1 kg de PLS_{35} entraîne une variation moyenne de QI d'herbe de 240 g MS/j pour une herbe à 1 UEL/kg MS, variant de 209 à 262 g de MS suivant la valeur d'encombrement de l'herbe (**Tableau 2.2** ; INRA, 2010). De Simiane et al. (1983) citent un chiffre de 300 g de QI d'herbe (graminées) pour une variation de PL de 1 kg pour des chèvres recevant 650 g de concentrés, entre 70 et 140 j de lactation et produisant 3,7 kg de lait en moyenne. Ceci est proche de la variation obtenue avec le modèle INRA.

II.1.4 Stade de lactation et parité

La capacité d'ingestion est faible à la mise-bas et augmente au cours des premières semaines de lactation pour atteindre un maximum entre 6 et 10 semaines de lactation (Morand-Fehr et al. 1991). Les équations de prévision de la QI obtenues par régression linéaire (Eq. 1 à 4) ne tiennent pas compte du stade de lactation, car les études sont souvent effectuées en milieu de lactation. Pour le modèle INRA (Eq. 5), il est conseillé d'appliquer un coefficient de correction de la capacité d'ingestion en fonction du stade de lactation sur les 5 premières semaines (INRA, 2010). Celui-ci vaut respectivement 0,72, 0,85, 0,92, 0,95 et 0,98 pour les semaines 1 à 5 après la mise-bas. Cela correspond à une différence de 430 g MS/j d'herbe entre la 1ère et la 5ème semaine de lactation pour une chèvre de 60 kg produisant 3 kg de lait et recevant une herbe de référence (1,0 UEL/ kg MS).

L'effet de la parité ne semble pas significatif en chèvres laitières dans les modèles présentés, c'est-à-dire qu'à même poids vif et même production laitière on ne fait pas de différence entre les primipares et multipares, au contraire des vaches laitières (INRA, 2010).

Tableau 2.2 Exemples de QI d'herbe (1,0 UEL/kg MS) pour des chèvres en lactation en fonction du poids vif (PV) et de la production laitière standard 3,5 %(PLS_{35}) (Eq. 5) et en fonction de la quantité de concentrés apportée (QI_C) (adapté de INRA, 2010).

			QI concentrés (kg/j)			
PV (kg/j)	**PL_{35} (kg/j)**	**CI (UEL/j)**	**0,30**	**0,60**	**0,90**	**1,20**
50	0	1,14	1,14	1,11	1,00	0,83
50	1	1,38	1,38	1,35	1,24	1,07
50	2	1,62	1,62	1,59	1,48	1,31
50	3	1,86	1,86	1,83	1,72	1,55
50	4	2,10	2,10	2,07	1,96	1,79
50	5	2,34	2,34	2,31	2,20	2,03
50	6	2,58	2,58	2,55	2,44	2,27
50	7	2,82	2,82	2,79	2,68	2,51
60	0	1,30	1,30	1,27	1,16	0,99
60	1	1,54	1,54	1,51	1,40	1,23
60	2	1,78	1,78	1,75	1,64	1,47
60	3	2,02	2,02	1,99	1,88	1,71
60	4	2,26	2,26	2,23	2,12	1,95
60	5	2,50	2,50	2,47	2,36	2,19
60	6	2,74	2,74	2,71	2,60	2,43
60	7	2,98	2,98	2,95	2,84	2,67
70	0	1,46	1,46	1,43	1,32	1,15
70	1	1,70	1,70	1,67	1,56	1,39
70	2	1,94	1,94	1,91	1,80	1,63
70	3	2,18	2,18	2,15	2,04	1,87
70	4	2,42	2,42	2,39	2,28	2,11
70	5	2,66	2,66	2,63	2,52	2,35
70	6	2,90	2,90	2,87	2,76	2,59
70	7	3,14	3,14	3,11	3,00	2,83

II.1.5 Stade de gestation

Le stade de gestation de la chèvre influence l'ingestion en fin de gestation suivant la taille de la portée, et réduit ainsi la capacité d'ingestion de 0,10 UEL/j que pour les chèvres au 5ème mois de gestation pour les chèvres portant plus d'un chevreau (INRA, 2010). Cela représente pour une chèvre de 60 kg une variation de QI d'herbe de 110 g MS/j environ.

II.1.6 Effet de l'état corporel

Ces effets sont connus chez les autres ruminants mais ont été peu étudiés et non quantifiés chez la chèvre laitière. Ils ne sont pour le moment pas intégrés dans les équations de capacité d'ingestion et/ou de quantité ingérée. Chez les vaches et les brebis, il a été

montré que l'augmentation de la note d'état corporelle entraîne une diminution de la capacité d'ingestion (INRA, 2010).

II.2 Facteurs d'origine végétale

Le principal facteur de variation de l'ingestion d'origine végétale est l'encombrement du rumen par le fourrage. D'après le modèle développé par l'INRA, la valeur d'encombrement d'un fourrage (VE_F), dans notre cas de l'herbe verte, est exprimée en UEL/kg MS. Cet encombrement est directement lié à l'ingestibilité de l'herbe qui est la quantité volontaire d'herbe que peut consommer l'animal quand celle-ci est distribuée seule et à volonté (Baumont et al. 2000). Cette ingestibilité (exprimée en g MS/kg $PV^{0.75}$) varie en fonction des différents facteurs liés à la plante comme sa famille botanique, son espèce, son stade physiologique ou son âge, mais aussi sa composition chimique.

II.2.1 Espèces végétales et stade physiologique

De façon globale, l'ingestibilité des légumineuses est supérieure à celle des graminées quel que soit le stade physiologique ou l'âge (Baumont et al., 2000), ce qui induit une valeur d'encombrement plus faible et donc une ingestion des légumineuses plus élevée par rapport aux graminées de l'ordre de 150 g MS/j (**Tableau 2.3**).

En deuxième cycle, l'ingestion moyenne des légumineuses est supérieure de 190 g de MS/j par rapport à l'ingestion des graminées (**Tableau 2.3**). Au sein de la même famille et à même stade, l'espèce végétale influence aussi l'ingestibilité. Au premier cycle, au stade feuillu, le dactyle est plus ingestible et donc plus ingéré que le ray-grass anglais (**RGA** ; + 140 g MS/j) qui est autant ingestible que la fétuque élevée (**Tableau 2.3**). Cependant, la différence liée au stade physiologique et à l'âge de la plante au sein d'un même cycle est souvent plus importante que la différence liée à l'espèce : un maximum 140 g de MS de différence est observé entre le dactyle et le RGA, alors que pour le RGA la différence peut s'élever à 300 g/j entre le stade feuillu et la floraison du premier cycle (**Tableau 2.3**).

Tableau 2.3 Exemples théoriques de QI d'herbe (kg MS/j) en fonction de la famille, de l'espèce, du stade végétatif de la plante pour une chèvre de 60 kg produisant en moyenne 3,5 kg de lait standard à 3,5 % (CI= 2,14 UEL/j) complémentée avec 600 g de MS de concentré, alimentée à l'auge (adapté de INRA, 2010).

Graminées		**Ray Grass Anglais**	**Fétuque élevée**	**Dactyle**
1er cycle	feuillu	2,04	2,04	2,18
	épiaison	1,89	1,89	1,91
	floraison	1,74	1,76	1,74
2ème cycle	repousse feuillues 6 semaines	1,94	1,96	1,98
3ème cycle	repousse feuillues 6 semaines	1,93	2,02	2,00
Légumineuses		**Luzerne**	**Trèfle violet**	**Trèfle blanc**
1er cycle	végétatif	2,13	2,11	2,18
	bourgeonnement	2,02	2,09	
	floraison	1,98	1,98	2,15
2ème cycle	repousse à tiges 6 semaines	2,15	2,18	2,15
3ème cycle	repousse à tiges 6 semaines	2,07	2,13	2,08

II.2.2 Valeur nutritive et composition chimique

Les variations d'ingestibilité entre espèces, stades physiologiques et âges sont liées principalement aux variations de la composition chimique et de la valeur nutritive de la plante. En effet, l'équation de prévision de l'ingestibilité est la suivante (INRA, 2010) :

QIL = 66,3 + 0,655 dMO + 0,098 MAT + 0,626 MS + Δ

où QIL représente l'ingestibilité de l'herbe verte pour les bovins et caprins laits (g/kg $PV^{0,75}$) ; dMO représente la digestibilité de la matière organique en % ; MAT représente la teneur en MAT en g/kg MS ; MS représente la teneur en matière sèche en % et Δ vaut respectivement 0, -3,7 ou +1 s'il s'agit respectivement, d'une prairie permanente, de graminées ou de légumineuses. Ainsi par exemple pour une chèvre de 60 kg, produisant 3,5 kg de PLS_{35} (CI = 2,01 UEL/j) et pour des graminées fourragères, une variation de 1 % de dMO ou de MS entraîne une variation de la QI d'herbe dans le même sens de 9 g MS/j et une variation de 10 g/kg MS de MAT entraîne une variation dans le même sens de 14 g MS/j.

Dans les modèles linéaires présentés dans le **Tableau 2.1**, seule l'équation 3 (Luo et al., 2004) tient compte de la variation de la teneur en MAT de la ration à travers l'énergie métabolisable **(EM)** de la ration. Ainsi une variation de concentration en EM de la ration de 1 MJ/ kg MS va entraîner une variation de la QI dans le sens opposé de 16 g de MS/j.

II.3 Facteurs liés à la complémentation

La complémentation, par le phénomène de substitution, influence le niveau d'ingestion de l'herbe. Le taux de substitution étant obtenu différemment s'il s'agit d'un concentré ou d'un fourrage, les deux types de complémentations seront distingués.

II.3.1 Complémentation en concentrés

Le taux de substitution herbe/concentré est connu pour augmenter dans le cas d'une herbe de haute qualité et peu encombrante et dans le cas d'une quantité de complément importante (NRC, 2007 pour petits ruminants ; INRA, 2010 pour vaches laitières). Des équations sont disponibles sur la prévision de l'ingestion du fourrage dans les cas où un concentré est distribué en complément. Le plus souvent celles-ci sont basées sur des fourrages conservés et seule la quantité de concentré distribuée est inclue dans le modèle. C'est le cas pour l'équation 4 (**Tableau 2.1**), où l'ajout de 300 g/j de concentré (de 300 g à 600 g de concentré) entraine une hausse de la QI totale de 210 g de MS/j mais une réduction de QI de fourrage de 151 g de MS/j, soit un taux de substitution marginal de 0,30 (Sauvant et al., 2012). Cependant, cette équation est appliquée dans le cas d'un fourrage moyen et ne tient pas compte de la valeur d'encombrement du fourrage, ni du concentré, comme le permet l'équation du système INRA (Eq. 5, **Tableau 2.1**, INRA, 2010). En effet selon le système des UE, les concentrés n'ont pas de valeur d'encombrement fixe et cette valeur (VE_C) dépend de la quantité de concentré (QI_C) et de la valeur d'encombrement de l'herbe (VE_H). Ainsi, plus la QI_C et/ou la VE_H va augmenter, plus la QI d'herbe va diminuer (**Tableau 2.4**). Par exemple, pour une augmentation de 300 g/j de concentré, la réduction de QI d'herbe est de 30 g de MS/j (entre 0 et 300 g de QI_C) à 240 g de MS (entre 900 et 1200 g de QI_C). Le taux de substitution marginal varie alors entre 0 et 0,8.

Les quelques essais réalisés à l'auge avec de l'herbe verte montrent des résultats un peu différents. Huguet et al. (1977) n'ont pas trouvé d'effet de la quantité de concentré sur la QI d'herbe quand celle-ci varie entre 350 et 700 g de MS, mais une baisse significative de la QI à partir de 1,05 kg de MS de concentré avec un taux de substitution très élevé (0,95). De même, entre 350 et 700 g de concentré par jour, la QI des chèvres entre 60 et 120 jours de lactation n'est pas impactée par la quantité de concentré (substitution = 0), alors qu'au-dessus de 700 g/j de concentré il y a forte substitution (de Simiane et al., 1983). Il semble

donc qu'avec une ration à base d'herbe, la substitution entre l'herbe et le concentré soit faible si la quantité de concentré est inférieur 700 g MS/j.

Tableau 2.4 Variation de la QI (**QI d'herbe** /*QI totale* (kg MS/j)) en fonction de la quantité de concentré et de la valeur d'encombrement de l'herbe pour une chèvre de 60 kg produisant en moyenne 3,5 kg de lait standard à 3,5 % (à partir de l'Eq. 5 du Tableau 2.1, INRA, 2010).

	QI concentrés (kg MS/j)				
	0,00	**0,30**	**0,60**	**0,90**	**1,20**
	Taux substitution Sg				
VE_H	0,00	0,11	0,23	0,34	0,46
0,92	**2,33** / *2,33*	**2,29**/ *2,59*	**2,19**/ *2,79*	**2,02**/ *2,92*	**1,78**/ *2,98*
0,96	**2,23**/ *2,23*	**2,19**/ *2,49*	**2,09**/ *2,69*	**1,92**/ *2,82*	**1,68**/ *2,88*
1,00	**2,14**/ *2,14*	**2,11**/ *2,41*	**2,00**/ *2,60*	**1,83**/ *2,73*	**1,59**/ *2,79*
1,04	**2,06**/ *2,06*	**2,02**/ *2,32*	**1,92**/ *2,52*	**1,75**/ *2,65*	**1,51**/ *2,71*
1,08	**1,98**/ *1,98*	**1,95**/ *2,25*	**1,84**/ *2,44*	**1,67**/ *2,57*	**1,43**/ *2,63*
1,12	**1,91**/ *1,91*	**1,88**/ *2,18*	**1,77**/ *2,37*	**1,60**/ *2,50*	**1,36**/ *2,56*
1,16	**1,84**/ *1,84*	**1,81**/ *2,11*	**1,71**/ *2,31*	**1,54**/ *2,44*	**1,30**/ *2,50*

II.3.2 Complémentation en fourrages

La complémentation à l'auge peut également se faire sous forme de foin. Contrairement aux concentrés, les autres fourrages ont une valeur UE fixe en fonction des caractéristiques de la plante ou du type de conservation (INRA, 2010). Le taux de substitution (**TS**) entre l'herbe fraîche et conservée est alors obtenu par rapport des deux valeurs d'encombrement : **TS = VE_{Foin}/VE_{Herbe}**. L'herbe étant souvent beaucoup plus ingestible que le foin, le taux de substitution est régulièrement supérieur à 1,0 (**Tableau 2.5**). Par exemple, pour une chèvre de 60 kg produisant 3,5 kg de PLs_{35} (CI= 2,01 UEL/j), consommant une herbe de référence à 1,0 UEL/kg MS, l'ajout de 400 g MS de foin (1,15 UEL/ kg MS) entraîne une baisse de QI d'herbe de 460 g MS/j.

Tableau 2.5 Taux de substitution herbe-fourrage en fonction des valeurs d'encombrement (adapté de INRA, 2010).

	VE_F (UEL/kg MS)					
VE_H (UEL/kg MS)	***0,85***	***0,95***	***1,05***	***1,15***	***1,25***	***1,35***
0,92	0,92	1,03	1,14	1,25	1,36	1,47
0,96	0,89	0,99	1,09	1,20	1,30	1,41
1,00	0,85	0,95	1,05	1,15	1,25	1,35
1,04	0,82	0,91	1,01	1,11	1,20	1,30
1,08	0,79	0,88	0,97	1,06	1,16	1,25
1,12	0,76	0,85	0,94	1,03	1,12	1,21
1,16	0,73	0,82	0,91	0,99	1,08	1,16

Il est courant chez les chèvres laitières d'apporter de la luzerne déshydratée en complément. Même si celle-ci est souvent présentée sous forme de granulés plus ou moins gros, elle n'est pas considérée comme un concentré mais plutôt comme un fourrage peu encombrant. Sa valeur d'encombrement varie entre 0,80 et 0,85 UEL et le taux de substitution s'obtient comme pour les fourrages par rapport des valeurs d'encombrement (**Tableau 2.5** ; INRA, 2010). Pour une chèvre de 60 kg produisant 3,5 kg de PL_{35} (CI= 2,01 UEL/j), consommant une herbe de référence à 1,0 UEL/kg MS, l'ajout de 400 g MS luzerne déshydratée (0,82 UEL/ kg MS) entraîne une baisse de QI d'herbe de 330 g MS/j.

III. Effet de la gestion du pâturage sur l'ingestion et les performances des chèvres

Les facteurs connus à l'auge, qui dépendent de l'animal (poids vif, production laitière, stade de lactation) et des caractéristiques des aliments (ingestibilité, valeur nutritive) et de la complémentation, décrits dans la partie précédente, définissent une ingestion d'herbe volontaire (**HI_v**). Avondo et al. (2008) proposent une équation de prévision de l'ingestion des chèvres laitières au pâturage, grâce à 600 données individuelles d'ingestion obtenues sur 3 ans dans le cadre de durée de pâturage quotidienne courte (4 à 8 h entre les deux traites) :

$$\mathbf{HI = 82{,}11 - 6{,}188 \times MAT_C + 0{,}138 \times PLS + 9{,}131 \times PV} \quad (R^2 = 0{,}41;\ P < 0{,}01)$$

avec HI, la QI d'herbe (g MS/j) ; MAT_C, la quantité de MAT apportée par le concentré (g/j) ; PLS, la production laitière standard à 5,0 % de TB (g/j) et PV, le poids vif (kg). Cependant, cette équation ne tient pas compte des facteurs de gestion du pâturage qui peuvent influencer l'ingestion. Ces facteurs décrits dans les parties suivantes définissent la disponibilité de l'herbe à la fois en quantité et en temps. L'apport de complémentation sera également abordé.

III.1 Système de pâturage

Il existe deux grands types de pâturage fréquemment utilisés : le pâturage tournant caractérisé par une rotation des parcelles et un temps de séjour court et le pâturage continu caractérisé par une surface non limitante et un temps de séjour long (Delagarde et al., 2001 ; Leray et al., 2017). En bovins et en ovins, la comparaison des deux systèmes au niveau de l'ingestion ou des performances, ne montrent pas de différences clairs en faveur d'un

système ou de l'autre (Béranger et Micol, 1981 ; Leaver, 1985 ; Leray et al., 2017). Les essais qui comparent les effets d'un pâturage tournant ou continu sur l'ingestion et les performances des chèvres laitières sont rares et les résultats montrent également peu de différences entre les deux systèmes. L'ingestion et la production laitière ont été légèrement supérieures, de 66 g de MS/j et 136 g/j respectivement, pour le système de pâturage continu, dans le cadre d'un essai de 110 jours avec 6 chèvres/ha (Rubino et al., 1988). Inversement, une production laitière supérieure de 6 % et une récolte d'excédents sous forme de foin supérieure de 20 % ont été observées en faveur du pâturage tournant (3-4 j) par rapport au pâturage continu lors d'un essai de 112 jours sur des parcelles de ray-grass et dactyle (Van Quackebeke et al., 1997). Les différences de performances entre les deux ne sont donc pas claires dans le cas d'une gestion maîtrisée des systèmes (Lefrileux et al., 2008). Un avantage du pâturage tournant en chèvres est de contribuer à une meilleure gestion du risque parasitaire par des strongles digestifs par un temps de présence plus court des animaux sur les parcelles (Bonanno et al., 2008).

III.2 Le temps d'accès journalier au pâturage

L'effet du temps d'accès journalier (**TA**) sur l'ingestion et les performances a été peu étudié chez les chèvres et encore moins chez les chèvres laitières. Seules 4 publications permettent d'appréhender l'effet du TA sur l'ingestion, le comportement et les performances des chèvres (**Tableau 2.6**). Parmi ces 4 publications, 3 sont basées sur des chèvres à viande avec des jeunes mâles castrés (Berhan et al., 2005), des femelles adultes taries (Romney et al., 1996) et sur un cycle lactation/tarissement (Tovar-Luna et al., 2011). Une seule publication porte sur des chèvres laitières (Alpine) en début de lactation (Keli et al. 2017). Le pâturage a été de type continu pour 3 des publications (Berhan et al. 2005; Tovar-Luna et al. 2011; Keli et al. 2017) et de type rationné pour une publication puisque les chèvres étaient à l'attache et déplacées chaque jour (Romney et al. 1996). Toutes les prairies étaient constituées principalement de graminées et légumineuses avec parfois d'autres dicotylédones. Les TA étudiés ont varié de 4 à 24 h en passant par 6, 8 et 12 h d'accès journalier au pâturage. Seules les chèvres laitières de l'essai de Keli et al. (2017) ont reçu une complémentation en concentrés d'environ 900 g MS/j. Suivant les publications, l'ingestion est exprimée en kg MS ou en kg MS/kg $PV^{0,75}$. Lorsque les données de poids vif étaient disponibles les ingestions ont été recalculées dans les deux unités.

Tableau 2.6. Données disponibles sur l'effet du temps d'accès sur l'ingestion, la production laitière et le comportement alimentaire des chèvres au pâturage

Essai	Référence	Pays	Saison	Races	Stade physiologique	Pâturage	Prairie	Schéma expérimental	Traitements[1]	Compléments
1	Berhan et al. 2005	Etats-Unis	Hiver	Chèvre à viande (Boer x Espagnole)	Jeunes castrés 7-8 mois	Continu 1 parcelle de 0,7 ha	Temporaire Graminées, Légumineuse	Carré latin 3x3 3 périodes d'env 20 j	**4, 8 ou 24 h d'accès (1)** 6 chèvres	0
2	Keli et al. 2017	Etats-Unis	Eté	Chèvre laitière (Alpine)	26 j de lactation 17 multipares et 11 primipares	Continu 1 parcelle de 0,8 ha par période	Temporaire Graminées, Légumineuse, autres Dicotylédones	Carré latin 4x4 4 périodes de 28 j	**22 h hors traite ou 8 h entre les deux traites (2.1)** **8 h ou 6 h à partir du moment où l'herbe est sèche (2.2)** 28 chèvres	Concentrés : 1,5% du PV (≈ 900 g MS)
3	Romney et al. 1996	UK	Eté	Chèvre à viande (Tanzanian)	Mâture et taries	Rationné 19,6 m²/ch/j	Temporaire Graminées, Légumineuse, autres Dicotylédones	Continu 1 période de 28 j	**4 ou 8 h attachées (3)** 8 chèvres/traitement	0
4	Tovar-Luna et al. 2011	Etats-Unis	Année	Chèvre à viande (≥ 75% Boer)	1 lactation + tarissement	Continu ? 8 parcelles de 0,72 ha	Temporaire Graminées, Légumineuse	Continu 1 essai de 11 mois divisé en 5 stades de production	**Accès continu 24 h ou que le jour 12 h (4)** 11 chèvres/traitements	0

[1] (1) le chiffre entre parenthèses identifie la série de traitements des différents essais toutes choses égales par ailleurs dans les graphiques suivants.

III.2.1 Effet du temps d'accès sur l'ingestion

L'augmentation du TA semble augmenter l'ingestion journalière des chèvres, qu'elle soit exprimée en g MS/j ou en g MS/kg $PV^{0,75}$/j (**Figure 2.2**). L'augmentation d'ingestion est en moyenne de 34 g de MS/j par heure d'accès supplémentaire entre 4 h et 8 h/j d'accès (Romney et al. 1996; Berhan et al., 2005) et de 26 g MS/j par heure supplémentaire entre 8-12 et 22-24 h/j d'accès (Tovar-Luna et al., 2011; Keli et al., 2017). De plus, pour un même temps d'accès total de 8 h/j, l'heure d'accès ne semble pas avoir d'influence sur l'ingestion (Keli et al., 2017).

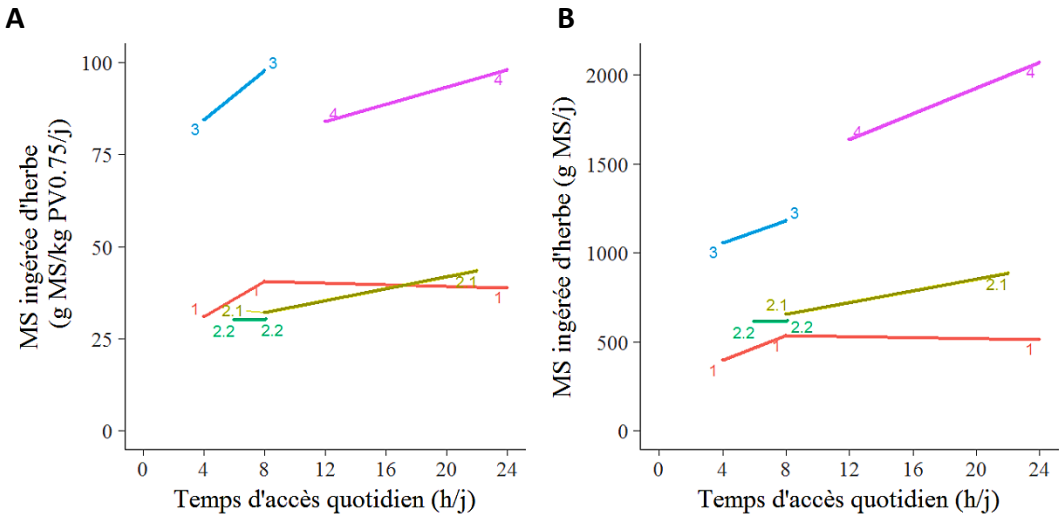

Figure 2.2. Effet du temps d'accès sur l'ingestion (A) en g MS/kg $PV^{0,75}$, (B) en g MS/j chez les caprins au pâturage (1 : Berhan et al., 2005 ; 2 : Keli et al., 2017 ; 3 :Romney et al., 1996 ; 4 : Tovar-Luna et al., 2011).

III.2.2 Effet du temps d'accès sur le comportement alimentaire

Les variations d'ingestion liées au temps d'accès peuvent être en partie expliquées par l'adaptation comportementale des chèvres au pâturage. En effet, la durée d'ingestion (DI) et la vitesse d'ingestion (VI) de l'herbe sont reliées à la quantité d'herbe ingérée (HI) par la relation suivante : **HI= DI * VI**

où HI est exprimée en g MS/j ; DI en min/j ou heure/j et VI en g MS/min ou /h. Lorsque le temps d'accès est réduit de 24 h jusqu'à 8 h, la durée d'ingestion baisse légèrement, d'en moyenne 6 min/j par heure d'accès (**Figure 2.3**). Lorsque le temps d'accès est réduit de 8 h jusqu'à 4 ou 6 h, la durée d'ingestion baisse de façon plus importante, de 45 min/j par heure d'accès (**Figure 2.3**). La relation entre le TA et la durée d'ingestion semble de type curvilinéaire avec un point d'inflexion autour de 8 h/j d'accès.

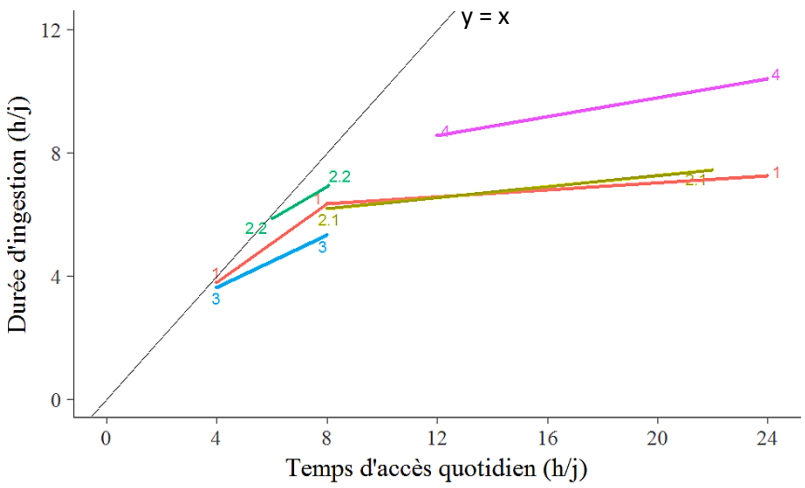

Figure 2.3. Effet du temps d'accès sur la durée d'ingestion chez les caprins au pâturage (1 : Berhan et al., 2005 ; 2 : Keli et al., 2017 ; 3 :Romney et al., 1996 ; 4 : Tovar-Luna et al., 2011)

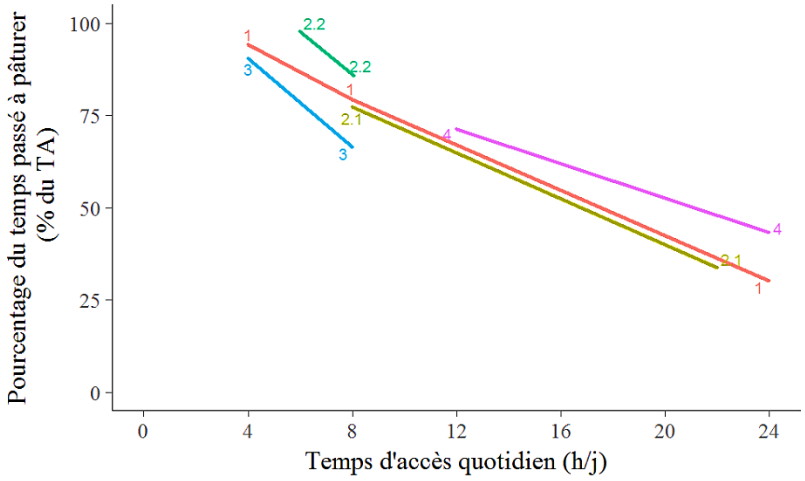

Figure 2.4. Effet du temps d'accès sur le pourcentage de temps passé à pâturer chez les caprins au pâturage (1 : Berhan et al., 2005 ; 2 : Keli et al., 2017 ; 3 :Romney et al., 1996 ; 4 : Tovar-Luna et al., 2011)

Le pourcentage de temps passé à pâturer augmente donc de façon importante et quasi linéaire avec la réduction du temps d'accès et atteint des valeurs très élevées. Le pourcentage de temps passé à pâturer est d'environ 50 % pour 16 h d'accès, d'en moyenne 75 % pour 8 h d'accès et de quasiment 100 % pour 4 h d'accès au pâturage (**Figure 2.4**). Cette concentration d'activité avec la réduction du TA a été également observé chez les ovins et les bovins (Pérez-Ramírez et al., 2008 et 2009 ; Kennedy et al., 2009 ; Molle et al., 2017). Lorsque le TA est réduit, la durée d'ingestion diminue mais on observe une concentration de l'activité d'ingestion dans le temps disponible. Cette concentration d'activité d'ingestion entraine également une modification des autres activités comportementales. Par exemple, il a été constaté qu'à TA restreint, les chèvres passent plus

de temps à se reposer et moins de temps à ruminer qu'avec un TA de plus de 20 h/j (**Tableau 2.7**). Il semble également que les déplacements soient plus rapides. En effet, entre 22 h et 8 h/j par exemple, la durée de marche et la distance parcourue sont réduites de 50 et 11 % respectivement, les chèvres faisant un peu moins de kilomètres en beaucoup moins de temps (Keli et al., 2017) (**Tableau 2.7**). Ce comportement est aussi constaté chez les bovins (Kennedy et al., 2009).

Tableau 2.7. Effet du temps d'accès sur le comportement d'ingestion des chèvres au pâturage

Variable	Berhan et al. (2005)			Keli et al. (2017)				Tovar-Luna et al. (2011)	
TA (h/j)	**24**	**8**	**4**	**22**	**8**	**8**	**6**	**24**	**12**
Nb de pas (x 1000)	6,4	4,6	2,5					4,8	4,2
Marche (h/j)				1,8	0,9	1,0	0,7	1,6	1,0
Distance (km/j)				9,3	8,3	7,4	8,0	3,1	2,1
Repos debout (h/j)	6,7	8,3	8,4	6,3	7,8	7,2	6,8		
Repos couché (h/j)	9,5	11,3	15,8	8,6	9,1	8,9	10,7	10,5	12,4
Rumination (h/j)	7,3	6,3	4,4						

La vitesse d'ingestion a été recalculée pour chaque traitement en divisant la quantité d'herbe ingérée par la durée d'ingestion dans les 4 essais. De façon générale, il semblerait qu'il y ait peu de variation de la vitesse d'ingestion lorsque le TA est réduit jusqu'à 8 h (Berhan et al., 2005 ; Keli et al., 2017 ; Tovar-Luna et al., 2011) (**Figure 2.5**). Par contre, la vitesse d'ingestion augmente lorsque le TA est restreint de 8 h à 6 ou 4 h, de l'ordre de 20 à 30 % (Berhan et al., 2005 ; Romney et al., 1996). La même gamme de variation relative de vitesse d'ingestion est observée chez les ovins et les bovins quand le TA est réduit en dessous de 9h/j d'accès (Delagarde et al., 2008 ; Pérez-Ramírez et al., 2008 ,2009 ; Kennedy et al., 2009 ; Molle et al., 2014). Si on ne considère que les chèvres laitières adultes, la vitesse d'ingestion n'a pas varié entre 22 et 8 h/j d'accès et a augmenté de 18 % lorsque le TA a diminué de 8 à 6 h/j d'accès (Keli et al., 2017).

Pour un TA inférieur à 8 h, on peut supposer que les chèvres augmentent leur vitesse d'ingestion pour compenser la baisse de durée d'ingestion et tenter de maintenir un niveau d'ingestion qui ne s'éloigne pas trop de la QI volontaire (**QI_V**). En effet, lorsque le temps d'accès a été réduit de 8 h à 6 h (Keli et al., 2017), la durée d'ingestion a diminué de 16 % (**Figure 2.3**), mais la vitesse d'ingestion a augmenté de 18 % (**Figure 2.5**). Ainsi l'ingestion n'a pas varié entre les deux TA (**Figure 2.2**). L'augmentation de la vitesse d'ingestion (+24 %) ne

permet cependant pas toujours de compenser la diminution de durée d'ingestion (-40 %), entrainant une baisse d'ingestion (-26 %) lorsque le TA est réduit de 8 à 4 h (Berhan et al., 2005).

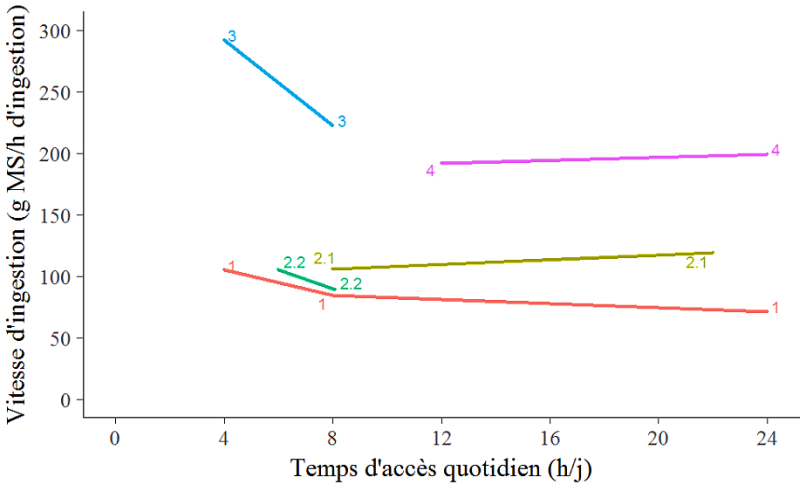

Figure 2.5 Effet du temps d'accès sur la vitesse d'ingestion des caprins au pâturage (1 : Berhan et al., 2005 ; 2 : Keli et al., 2017 ; 3 :Romney et al., 1996 ; 4 : Tovar-Luna et al., 2011)

Il a été mentionné en introduction que la chèvre est un animal sélectif qui fait le choix des parties les plus digestibles et riches en protéines (Avondo et al., 2008). Ce comportement de sélection alimentaire peut également être affecté par une réduction du TA. Berhan et al. (2005) ont montré une meilleure digestibilité de l'herbe ingérée avec un TA de 8 h par rapport à 4 h (0,796 *vs* 0,769) et supposent que le comportement de sélection est réduit avec un temps d'accès restreint, ne permettant plus aux chèvres de prendre le temps de sélectionner les parties les plus digestibles.

III.2.3 Effet du temps d'accès sur la production laitière et la composition du lait

La production laitière et la composition du lait ne sont disponibles que pour deux publications (Keli et al., 2017 ; Tovar Luna et al., 2011). Chez les chèvres laitières, les variations de TA de 22 h à 8 h/j et de 8 h à 6h/j n'ont eu d'effet ni sur la quantité de lait produite ni sur la composition du lait (**Tableau 2.8** ; Keli et al., 2017). Chez les chèvres allaitantes, on observe une baisse de la production laitière (- 650 g/j) entre les chèvres ayant accès 24 h/j et celles ayant accès 12 h/j (**Tableau 2.8** ; Tovar-Luna et al., 2011). Les auteurs expliquent cette différence par une potentielle influence du confinement des chèvres

pendant la nuit sur le comportement des têtées (agressivité des mères), influant donc la production laitière (Tovar-Luna et al., 2011). Cette hypothèse est appuyée par une QI d'herbe supérieure chez les chevreaux avec un TA de 12 h par rapport à 24 h/j (Tovar-Luna et al., 2011). Le TA n'a pas influencé les taux butyreux et protéique du lait (**Tableau 2.8** ; Tovar-Luna et al., 2011).

Tableau 2.8 Effet du temps d'accès sur la production et la composition du lait chez les chèvres laitières au pâturage

Variable	Keli et al. (2017)				Tovar-Luna et al. (2011)	
Temps d'accès (h/j)	**22**	**8**	**8**	**6**	**24** (4)	**12** (4)
Production laitière (kg/j)	2,35	2,26	2,28	2,20	1,82	1,17
Taux butyreux (g/kg)	29,6	29,5	29,6	30,6	55,6	56,8
Taux protéique (g/kg)	25,2	25,3	24,8	24,4	35,4	36,4

III.2.4 Effet d'interactions entre le temps d'accès et d'autres facteurs

L'interaction entre le TA et d'autres facteurs de gestion du pâturage n'a pas été étudiée en chèvres, alors que l'adaptation des animaux à des TA courts peut différer en fonction de l'herbe disponible, de la complémentation, etc. En effet, chez les vaches et les brebis, il a été montré que la variation de quantité d'herbe disponible (respectivement, en surface ou en hauteur) interagissait avec le TA. La réduction de 22 à 9 h/j de TA a eu un effet plus important à quantité d'herbe offerte élevée sur la quantité ingérée, la production laitière et la durée d'ingestion (Pérez-Ramírez et al., 2009). Chez les brebis, l'effet de la réduction du temps d'accès de 24 h à 9,5 h/j sur la quantité ingérée a été plus important lorsque la hauteur d'herbe était de 3,5 cm que lorsqu'elle était de 5,5 cm (Iason et al. 1999).

III.2.5 Conclusions sur l'effet du temps d'accès

Les données concernant l'effet du TA sur l'ingestion, le comportement et les performances des chèvres au pâturage sont peu nombreuses. De plus, une partie des données disponibles portent sur des chèvres à viande et dans des contextes d'herbe offerte et de complémentation assez variables dont on ne connaît pas les interactions avec le TA. Dans tous les cas, les chèvres montrent une capacité d'adaptation élevée aux variations du TA. Il semblerait que la réduction du TA jusqu'à 8 h/j ait peu d'influence sur les animaux, alors qu'une réduction en dessous de 8 h/j, sollicite plus d'effort d'adaptation notamment

en termes de vitesse d'ingestion et de concentration de l'activité d'ingestion, ce qui n'est pas toujours suffisant pour maintenir le niveau d'ingestion et/ou de production laitière.

III.3 La disponibilité en herbe au pâturage

L'ingestion d'herbe au pâturage est influencée par sa disponibilité et sa structure, qui définissent la quantité offerte aux animaux quotidiennement mais aussi la facilité de préhension de l'herbe (Poppi et al., 1987 ; Delagarde et al., 2001 ; Pérez-Prieto et Delagarde, 2013). La disponibilité en herbe ne dépend pas des mêmes variables selon que le système de pâturage choisi est de type tournant ou continu.

Dans le cas d'un pâturage continu, la disponibilité en herbe (en kg MS/animal) est souvent pléthorique et varie lentement au cours du temps. Elle est caractérisée par le maintien d'une certaine hauteur d'herbe (Prache et Peyraud, 2001 ; Leray et al., 2017). Celle-ci peut être maitrisée par le chargement (nombre d'animaux/ha), qui varie au cours du temps en fonction de la pousse de l'herbe. Le chargement peut également être fixe, la hauteur d'herbe variant alors en fonction de la pousse d'herbe et du chargement plus ou moins élevé.

Dans le cas du pâturage tournant ou rationné, la variation de disponibilité en herbe au cours du temps est beaucoup plus rapide. La hauteur ou la biomasse en entrée ne sont donc plus suffisants pour estimer la disponibilité. La notion de quantité d'herbe offerte (**QO**, kg MS/animal/jour) est alors souvent utilisée (Poppi et al., 1987 ; Delagarde et al., 2001).

III.3.1 Effet du chargement

La plupart des études visant à étudier la disponibilité en herbe chez les chèvres évaluent l'effet du chargement sur l'ingestion et les performances. Six études sont disponibles pour étudier les effets du chargement sur l'ingestion, le comportement et les performances des chèvres au pâturage (**Tableau 2.9**). Deux d'entre elles sont réalisées sur des chèvres laitières en milieu de lactation (Bonanno et al., 2007a; b), deux sur des jeunes en croissance de 4 à 14 mois (Animut et al., 2005a; b ; Askar et al., 2013) et deux sur des chèvres allaitant deux chevreaux (Askar et al., 2013 ; Celaya et al., 2016). Seul l'essai d'Animut et al. (2005 a, b) est réalisé sur du pâturage tournant tous les 14 jours, les autres étant en pâturage continu avec une durée d'essai allant de 53 à 144 jours. Le TA était de

24 h/j pour les chèvres non laitières (Animut et al. 2005a; 2005b; Askar et al. 2013; Celaya et al. 2016) ou de 7 h/j entre les deux traites du matin et du soir pour les chèvres laitières (Bonanno et al., 2007a, b). Les traitements étudiés étaient donc basés sur un nombre d'animaux/ha allant de 7,5 à 72 chèvres/ha avec comparaison de 2 ou 3 traitements par essai. Les chèvres laitières sur pairie temporaire ray-grass/trèfle d'Alexandrie ont reçu en complément 500 g brut /j d'orge (Bonanno et al., 2007a).

III.3.1.1 Effet du chargement sur l'ingestion

Quel que soit le stade physiologique ou la production, l'ingestion diminue avec l'augmentation du chargement (**Figure 2.6**). Cette baisse d'ingestion n'est pas significative d'après Askar et al. (2013), elle est linéaire et décroît de 4,6 g de MS/ kg $PV^{0,75}$ pour une augmentation de 10 chèvres/ha d'après Bonanno et al. (2007b), et décroit de 4,9 g MS/ kg $PV^{0,75}$ pour une augmentation du CHG de 10 chèvres/ha entre 36 et 48 chèvres/ha d'après Bonanno et al. (2007a).

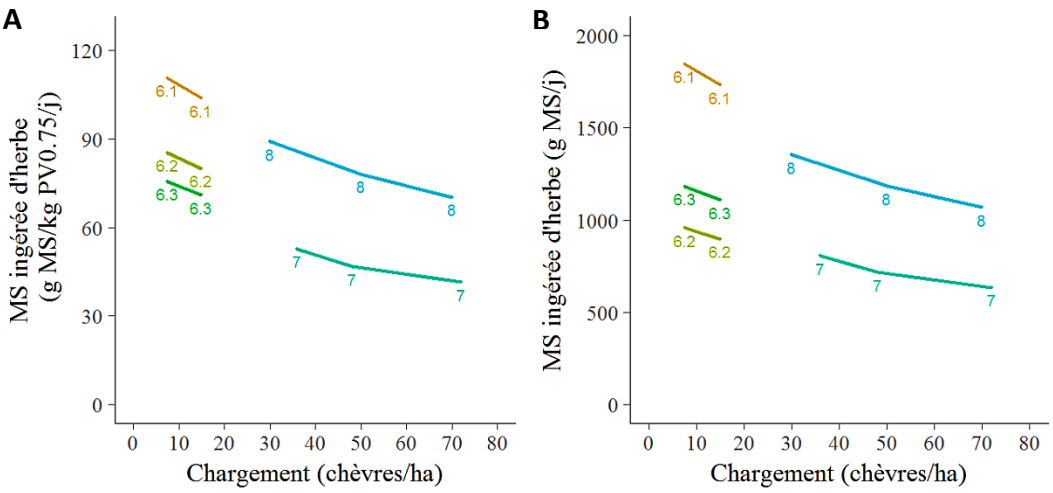

Figure 2.6 Effet du chargement sur la QI d'herbe (A) exprimée en g MS/$PV^{0,75}$/j , (B) exprimée en g MS/j, chez les caprins au pâturage (6 : Askar et al., 2013 ; 7 : Bonanno et al., 2007a ; 8 : Bonanno et al., 2007b)

Il est cependant difficile d'interpréter de façon relative ces variations puisqu'il n'est pas facile de décrire les conditions de pâturage pour chaque chargement dans la mesure où la croissance de l'herbe n'est pas connue, ni la quantité d'herbe offerte quotidiennement à chaque animal.

Tableau 2.9. Données disponibles sur l'effet du chargement sur l'ingestion, la production laitière et le comportement des chèvres au pâturage

Essai	Référence	Pays	Saison[1]	Races	Stade physiologique[2]	Temps d'accès (h/j) Pâturage	Prairie[3]	Schéma expérimental	Traitements/ Chargement (ch/ha)	Compléments
5	Animut et al. 2005 a,b	Etats-Unis	Eté	Chèvres à viande (≥ 75% Boer) Ovins viande (Khatadin)	**(5) Jeunes en croissance** 4-5 mois	24 h/j **Tournant 14j** 4 x 0,1 ha/ traitement	Naturelle Graminées Ambroisie	Continu 112 j d'essai × 2 années 3 répétitions	**10, 15 ou 20 ch/ha** 4, 6 ou 8 ch/ traitement	0
6	Askar et al. 2013	Etats-Unis	Eté	Chèvres à viande (Boer)	**(6.1) Allaitantes + 2 chevreaux** **(6.2) Jeunes en croissance 4 mois** **(6.3) Jeunes en croissance 14 mois**	24 h/j **Continu** 0,4 ha/ traitement	Graminées Ambroisie	Continu 144 j d'essai 4 répétitions	**7,5 ou 15 ch/ha** 3 ou 6 ch/ traitements (1 ou 2 de chaque stade)	0
7	Bonanno et al. 2007 a	Sicile	Print.	Chèvres laitières (Girgentana)	**(7) 130 j de lactation**	7 h/j **Continu** Parcelles de 1944, 1458, 972 m²	Temporaire Ray-grass Trèfle d'Alexandrie	Continu 87 j d'essai	**36, 48 ou 72 ch/ha** 7 ch/traitement	500 g MB d'orge
8	Bonanno et al. 2007 b	Sicile	Print.	Chèvres laitières (Girgentana)	**(8) 121 j de lactation**	7 h/j **Continu** Parcelles de 2625, 1612, 1139 m²	Temporaire Sainfoin	Continu 53 j d'essai	**30, 50 ou 70 ch/ha** 8 ch/traitement	0
9 (2010) 10 (2011) 11 (2012)	Celeya et al. 2016	Espagne	Print. – Aut.	Chèvres Cachemire	**(9.1, 10.1, 11.1) Allaitantes** **(9.2, 10.2, 11.2) 2 chevreaux**	24 h/j **Continu** Parcelles de 0,9, 0,6 et 0,3 ha	Temporaire Ray-grass Trèfle Blanc	Continu 120 j d'essai/ année 2 répétitions	**10, 15 ou 20 ch/ha** (les chevreaux sont non comptés) 9, 9 et 6 ch/traitement	0

[1] Print. : Printemps, Aut. : Automne,

[2] (8) chiffre entre parenthèses représentent les séries de chargement par essai et par stade physiologique sur les graphiques suivants

III.3.1.2 Effet du chargement sur le comportement d'ingestion

En pâturage continu, l'augmentation du chargement entraîne une augmentation de la durée d'ingestion et du temps passé à pâturer des jeunes caprins, pour compenser la baisse de disponibilité en herbe (**Tableau 2.10**). Askar et al. (2013) n'ont pas montré d'effet du chargement sur la durée d'ingestion qui a été de 7,2, 8,3 et 7,2 h/j respectivement pour les chèvres allaitantes, les jeunes de 4 mois et les jeunes de 14 mois.

Tableau 2.10. Effet du chargement sur la durée d'ingestion de jeunes caprins en co-pâturage continu avec des jeunes moutons (Animut et al. 2005a)

Chargement (chèvres/ha)	**10**	**15**	**20**
Durée d'ingestion (h/j)	7,38	8,37	9,65
Pourcentage de temps passé à pâturer (%)	31	35	42

Seule la publication d'Askar et al. (2013) permet de recalculer une vitesse d'ingestion à partir de la durée d'ingestion et de la quantité ingérée. Elle semble légèrement supérieure lorsque le chargement est plus faible, quel que soit le stade physiologique (**Tableau 2.11**).

Tableau 2.11. Vitesse d'ingestion (g MS/h) en fonction du chargement et de l'âge des chèvres (Askar et al., 2013)

Chargement (chèvres/ha)	**7,5**	**15**
Vitesse d'ingestion (en g MS/h)		
Chèvres allaitantes	256	240
Jeunes de 4 mois	115	108
Jeunes de 14 mois	165	155

III.3.1.3 Effet du chargement sur la production laitière et la composition du lait

D'après Bonanno et al. (2007a,b), la production laitière diminue lorsque le chargement est supérieur à 48-50 chèvres/ha (**Tableau 2.12**). La composition du lait ne semble pas être impactée par le chargement chez les chèvres alors qu'il est connu chez les vaches laitières que le taux butyreux augmente avec l'augmentation du chargement (McCarthy et al. 2011).

Tableau 2.12. Evolution de la production laitière et de la composition du lait en fonction du chargement chez les chèvres au pâturage

Référence	Bonanno et al. (2007a)			Bonanno et al. (2007b)		
Chargement (chèvres/ha)	**36**	**48**	**72**	**30**	**50**	**70**
Production laitière (g/j)	1332[a]	1328[a]	1004[b]	1763[c]	1516[b]	1361[a]
Taux Butyreux (g/kg)	36,0	37,0	37,0	NC	NC	NC
Taux protéique (g/kg)	36,0	36,0	36,0	NC	NC	NC

NC : Non connu

[a, b, c] Les valeurs d'une même ligne affectées de lettres différentes sont significativement différentes (P<0,05).

III.3.1.4 Effet du chargement sur la variation de poids vif

Askar et al. (2013) et Animut et al. (2005 a, b) n'ont pas montré de variation de poids vif avec le chargement. D'après Celaya et al. (2016), chez les chèvres adultes, l'augmentation du chargement entraîne une perte de poids plus importante, d'en moyenne 38 g de PV/j pour 10 chèvres/ha supplémentaires (**Figure 2.7**). Chez les jeunes en croissance, l'augmentation du chargement a tendance à diminuer le GMQ et de façon plus importante entre 15 et 20 chèvres/ha (19 g de PV/j) qu'entre 10 et 15 chèvres/ha (9 g PV/j ; Celaya et al., 2016).

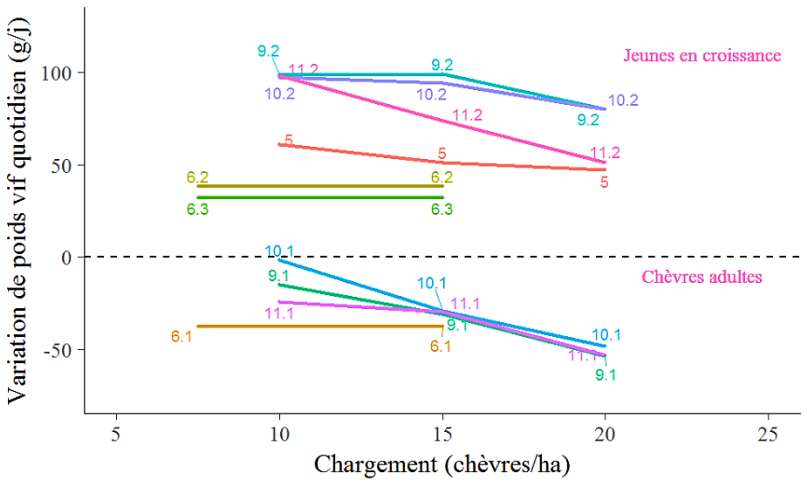

Figure 2.7 Effet du chargement sur la variation de poids vif quotidien de jeunes caprins en croissance et des chèvres adultes au pâturage (5 : Animut et al., 2005a,b ; 6 : Askar et al., 2013 ; 9, 10, 11 : Celaya et al., 2016).

Une des limites de la gestion par le chargement, est que celui-ci ne tient pas compte notamment de la pousse de l'herbe ou de la saison, par exemple. En effet, si l'on met 15 chèvres/ha, suivant la biomasse en entrée de parcelle, la surface de la parcelle, la pousse journalière, le pâturage peut être sévère comme il peut être laxiste. Ainsi, le chargement ne

peut pas être un facteur de prévision de l'ingestion. C'est pourquoi il est plus judicieux d'étudier les variations d'ingestion en fonction de la quantité d'herbe offerte, qui tient compte à la fois de la biomasse et de la surface offerte.

III.3.2 Effet de la quantité d'herbe offerte

La disponibilité en herbe dans le cadre du pâturage tournant ou rationné est souvent exprimée grâce à la quantité d'herbe offerte quotidiennement (kg MS/animal/j) (Delagarde et al., 2001 ; Leray et al., 2017). Elle tient compte de la biomasse en entrée de parcelle, du nombre d'animaux présents et du temps de séjour sur la parcelle. C'est un facteur déterminant de la variation de l'ingestion au pâturage chez les vaches laitières, avec des réponses d'ingestion et de production laitière à la QO de type curvilinéaire (Poppi et al., 1987 ; Delagarde et al., 2001 ; Pérez-Prieto et Delagarde, 2013). Il n'y a pas de donnée disponible permettant d'établir des lois de réponses sur l'effet de la QO en chèvre laitière, ni même en chèvre à viande.

III.3.3 Effet de la hauteur d'herbe

III.3.3.1 En pâturage continu

Lorsque la disponibilité en herbe est gérée à partir du maintien de la hauteur de la prairie à un niveau constant, cette hauteur peut influencer la quantité ingérée par les chèvres. D'après Merchant et Riach (1994), augmenter la hauteur du couvert permet d'augmenter la quantité d'herbe ingérée par les chèvres allaitantes et les mâles castrés (**Figure 2.8**). La hauteur du couvert n'a pas eu d'influence sur l'ingestion d'herbe des chevreaux qui se sont probablement adaptés en consommant plus de lait (**Figure 2.8**).

L'augmentation du poids vif avec la hauteur du couvert a été linéaire pour les chevreaux d'environ 7,7 g/j par cm de couvert supplémentaire (**Figure 2.9**). La variation du poids vif pour les chèvres allaitantes et mâles castrés a été de 16 g/j par cm de couvert supplémentaire entre 4 et 7 cm environ et n'a pas varié au-dessus de 7 cm. (**Figure 2.9**).

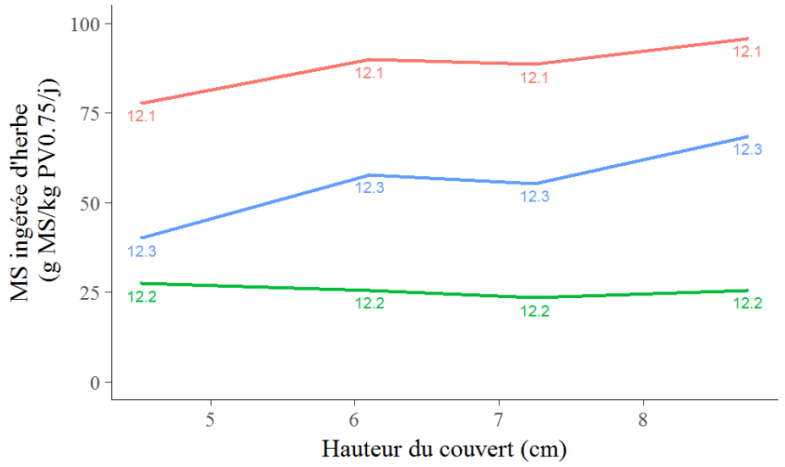

Figure 2.8 Evolution de la MS ingérée d'herbe exprimée en g MS/PV^{0,75}) en fonction de la hauteur du couvert et du stade physiologique (12.1 : Chèvres allaitantes, 12.2 : chevreaux, 12.3 mâles castrés, Merchand et Riach, 1994).

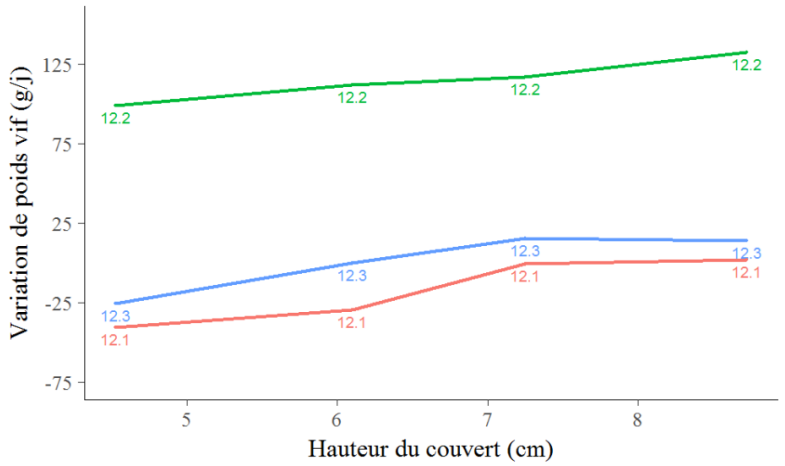

Figure 2.9 Evolution de la variation de poids vif en fonction de la hauteur du couvert et du stade physiologique (12.1 : Chèvres allaitantes, 12.2 : chevreaux, 12.3 mâles castrés, Merchand et Riach, 1994).

III.3.3.2 En pâturage tournant

En pâturage tournant la hauteur d'herbe varie de façon importante au cours de la journée et d'un jour à l'autre, c'est donc la hauteur et la biomasse en entrée de parcelle qui vont déterminer la disponibilité en herbe (Delagarde et al., 2001 ; Leray et al., 2017).

Aucune donnée n'est disponible sur l'effet de la hauteur du couvert sur l'ingestion en pâturage tournant en chèvre. Il a cependant été montré en vaches laitières qu'à faible hauteur d'herbe, la vitesse d'ingestion était réduite et que les vaches ne compensaient pas par une augmentation de durée d'ingestion, induisant une baisse d'ingestion (Pérez-Prieto, 2011). En effet, lorsque l'on réduit la hauteur d'herbe, les chèvres et les brebis réduisent le

poids de chaque bouchée et même si le nombre de bouchées/min augmente, la vitesse d'ingestion est réduite (Gong et al., 1996).

III.3.3.3 Conclusions sur l'effet de la disponibilité en herbe

Les données concernant l'effet de la disponibilité en herbe sur l'ingestion, le comportement et les performances des chèvres au pâturage sont peu nombreuses. De plus, une partie des données disponibles portent sur des chèvres à viande et conduites selon un système de pâturage continu géré par le chargement. Il est difficile de définir une loi de réponse de l'ingestion et de la production laitière à partir de ces données notamment parce que le chargement ne tient pas compte de la croissance de l'herbe, et de la biomasse, ne permettant pas de quantifier précisément la quantité d'herbe offerte quotidiennement aux animaux et ses variations.

III.4 Effet de la complémentation au pâturage

III.4.1 Effet de la complémentation sur l'ingestion

Très peu de données sur l'effet de la complémentation au pâturage sur l'ingestion sont disponibles. Il a cependant été constaté que comme à l'auge, augmenter la quantité de concentré entraine une diminution de la QI d'herbe. Par exemple, Rubino et al. (1995) ont trouvé que des chèvres Rouge Méditerranéenne recevant 150 g de concentré par jour au lieu de 550 g consommaient 51 % d'herbe en plus, avec un taux de substitution élevé de 1,45. Dans cette même étude, les chèvres Maltaise ne consommaient que 70 g MS d'herbe en plus quand la quantité de concentré passait de 550 g à 150 g, soit un taux de substitution d'à peine 0,20.

D'après Fedele et al. (1993) avec la comparaison des mêmes races que Rubino et al. (1995), la réduction de 550 à 150 g de concentrés par jour entraîne une augmentation de la QI d'herbe de 350 et 91 g MS/j, respectivement pour la race Maltaise et Rouge Méditerranéenne. Dans cette étude, les taux de substitution herbe/concentrés ont été de 0,90 et 0,23.

III.4.2 Effet de la complémentation au pâturage sur la production et la composition du lait

Les études sur l'effet de la complémentation au pâturage sur la quantité et composition du lait sont plus nombreuses (Rubino et al., 1995 ; Min et al., 2005 ; Lefrileux et al., 2012). Chez les chèvres laitières de race Alpine, l'apport d'aliment concentré augmente significativement la production laitière. Cette augmentation est de l'ordre de 0,9 à 1,7 kg de lait/ kg de concentré supplémentaire pour une variation comprise entre 0,5 et 2,0 kg de concentré (Min et al., 2005), et entre 0,2 et 0,9 kg de lait/ kg de concentré supplémentaire entre 0,25 et 1,30 kg de concentré (Lefrileux et al., 2012). D'après Lefrileux et al. (2012), l'augmentation d'apport de concentré induit une réponse laitière plus importante pour un niveau d'apport faible (environ 0,3 kg/j) que pour un apport élevé (1,3 kg/j) comme cela est visible sur la **Figure 2.10**. Chez les chèvres laitières de races Maltaise et Rouge Méditerranéenne, l'augmentation d'apport de concentrés a peu influencé la production laitière, de l'ordre de 0,3 à 0,5 kg lait/kg de concentrés supplémentaire (Rubino et al., 1995). Il a été constaté que la réponse laitière dépendait de la qualité de l'herbe pâturée. En effet, l'augmentation du niveau de concentré est plus efficace lorsque l'herbe pâturée est de moins bonne qualité (Min et al., 2005). Contrairement aux vaches laitières, la composition du lait des chèvres laitières a tendance à être peu impactée par le niveau d'apport de concentré (Rubino et al., 1995 ; Mil et al., 2005 ; Lefrileux et al., 2012).

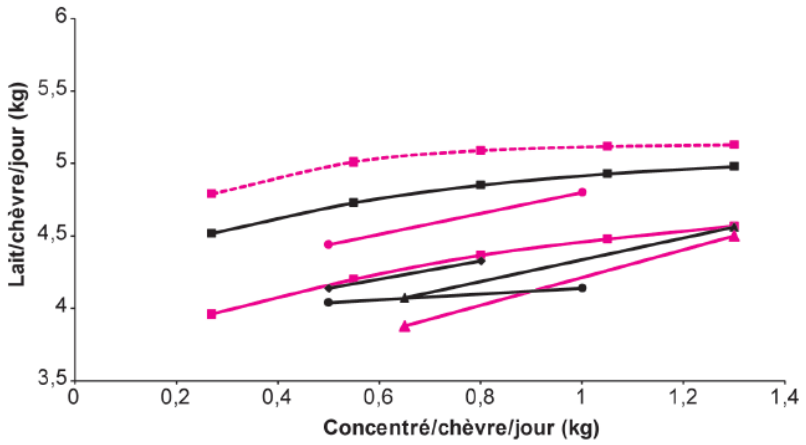

Figure 2.10 Effet de la quantité de concentré sur la production laitière des chèvres au pâturage (d'après Lefrileux et al., 2012).

III.4.3 Conclusion de l'effet de la complémentation au pâturage

Dans le cas d'un apport de concentré au pâturage, les réponses laitières sont assez bien décrites, mais les taux de substitution restent mal connus. Les variations des réponses laitières et de taux de substitution en lien avec les facteurs de gestion du pâturage sont également peu connues.

IV. Conclusion

Les facteurs de variations de l'ingestion de la chèvre à l'auge commencent à être connus et maitrisés, mais c'est loin d'être le cas au pâturage où les pratiques de gestion deviennent déterminantes.

Dans l'ensemble nous disposons que de peu de données concernant les chèvres laitières dont les réponses vont être différentes du fait des besoins accrus par rapport aux autres types de productions et stade physiologique.

Ensuite, les données disponibles sur le temps d'accès dans la gamme de variation le plus souvent appliquée en chèvre laitières (c'est-à-dire entre 4 et 12 h d'accès) sont peu nombreuses alors que c'est dans cette gamme de temps d'accès que l'ingestion, la production laitière et le comportement semblent les plus impactés.

Dans les références citées, la disponibilité en herbe est exprimée en majorité par le chargement. Or, les valeurs relatives de ces chargements ne peuvent être utilisées pour la prévision de l'ingestion puisque les quantités offertes ne sont pas connues.

Les connaissances des effets de la complémentation au pâturage sur la production laitière sont plus développées mais les effets sur l'ingestion et les taux de substitution restent floues.

Pour finir, les connaissances relatives aux effets des facteurs de gestion du pâturage liés à la disponibilité en herbe et en temps pour pâturer chez la chèvre laitières sont limitées.

Chapitre 3 : Questions et stratégies de recherche

La précédente synthèse bibliographique montre que l'effet des pratiques de gestion du pâturage sur l'ingestion et les performances des chèvres laitières ont été très peu étudiés dans des conditions de climat tempéré. La majorité des études a été conduite sur des chèvres à viande ou des jeunes en croissance, et souvent dans un contexte méditerranéen.

De manière générale, les études sur le pâturage indiquent que les facteurs de gestion les plus déterminants sur l'ingestion et les performances des ruminants sont le temps d'accès au pâturage, la quantité d'herbe offerte, et la complémentation (Delagarde et al., 2011). Concernant les effets du **temps d'accès** de la chèvre laitière au pâturage , la synthèse bibliographique montre qu'il y a très peu de données disponibles dans les gammes de variation inférieures à 12 h/j d'accès, alors que c'est la gamme usuelle de temps d'accès des chèvres au pâturage dans les élevages laitiers français (Legarto et Leclerc, 2007). De plus, c'est entre 4 et 12 h/j que le temps d'accès semble impacter le plus les réponses d'ingestion et de production laitière des chèvres. Dans l'objectif de prévoir les conséquences des pratiques de gestion du pâturage sur l'ingestion et les performances des chèvres, il y a donc besoin de mieux quantifier l'effet du temps d'accès des chèvres au pâturage. L'effet de la **quantité d'herbe offerte** aux chèvres laitières au pâturage n'a pas du tout été décrit dans la littérature, alors que c'est un facteur déterminant de variation de l'ingestion par animal et par hectare (Baudracco et al., 2010 ; Pérez-Prieto et Delagarde, 2013). Seules quelques études sont disponibles sur l'effet du chargement, montrant bien le rôle de la pression de pâturage sur les performances, mais ne permettant pas de prévoir les effets des pratiques sur l'ingestion et la production laitière, en l'absence de données sur l'offert réel. Il y a donc également un besoin quantifier la loi de réponse des chèvres à la quantité offerte au pâturage.

Les connaissances sur les effets de la **complémentation** sur la production laitière au pâturage semblent plus nombreuses mais les effets sur l'ingestion d'herbe et les taux de substitution entre l'herbe et les compléments sont encore méconnus. De plus, les réponses à la complémentation entrent en interaction avec les effets temps d'accès et de la quantité d'herbe offerte sur l'ingestion. Par exemple, le taux de substitution est réduit lorsque la disponibilité en herbe diminue, car l'animal ne couvre pas sa capacité d'ingestion (il n'est pas nourri à volonté), et le complément est alors « moins encombrant » (NRC, 2007 ; INRA, 2010). La complémentation peut ainsi minimiser les effets liés au temps d'accès ou à la

quantité d'herbe offerte. Dans l'état actuel des connaissances, il semble donc difficile d'étudier la complémentation au pâturage sans quantifier au préalable les effets des facteurs de gestion du pâturage (disponibilité en herbe et en temps) sur l'ingestion et les performances.

L'effet de ces modes de gestion du pâturage est généralement établi à l'échelle du troupeau, mais il est connu qu'il existe une forte variabilité interindividuelle de l'ingestion en fonctions des caractéristiques (poids, production...) des animaux. Cette **variabilité interindividuelle** de l'ingestion n'a pas été quantifiée dans le cas des chèvres laitières au pâturage. Il serait notamment pertinent de savoir si les lois connues à l'auge sont toujours applicables au pâturage, notamment par rapport à leur capacité d'adaptation comportementale.

L'objectif de cette thèse est de comprendre et quantifier l'influence des pratiques de gestion du pâturage sur la régulation de l'ingestion et les performances des chèvres laitières au pâturage, dans le but d'affiner les recommandations aux éleveurs et d'élaborer les bases d'un modèle de prévision de l'ingestion pouvant être intégré au logiciel INRAtion (INRA, 2010).

Les trois questions de recherches auxquelles nous souhaitons répondre dans cette thèse, sont donc les suivantes :

(1) Quelles sont les lois de réponse de l'ingestion et des performances des chèvres laitières au temps d'accès journalier à la pâture ?

(2) Quelles sont les lois de réponse de l'ingestion et des performances des chèvres laitières à la quantité d'herbe offerte ?

(3) Quelle est l'influence des caractéristiques individuelles des chèvres laitières sur leur ingestion au pâturage ?

La réponse au temps d'accès a été jugée prioritaire dans la thèse. En effet, contrairement aux vaches laitières, les chèvres ne sortent pas la nuit au pâturage, l'accès étant souvent limité seulement entre les deux traites. Le temps d'accès est donc une

contrainte importante pour l'ingestion des chèvres, mais aussi pour l'organisation du travail de l'éleveur.

Trois essais ont donc été mis en place pour répondre à cette première question. L'objectif de ces essais a été de déterminer l'effet du temps d'accès sur l'ingestion et/ou la production laitière et sur le comportement alimentaire des chèvres laitières pâturant en système rationné des prairies multi-spécifiques. Les temps d'accès étudiés ont varié de 4 h à 11 h/j pour tester des temps d'accès très court, des temps d'accès entre les deux traites et des temps d'accès entre les deux traites avec sortie supplémentaire après la traite du soir. Dans chaque essai, les quantités d'herbe offerte étaient identiques entre les traitements et ont varié de 2,0 à 2,4 kg MS/chèvre/j suivant les essais. Cette gamme a été choisie en lien avec la complémentation, pour être peu limitante pour l'ingestion et permettre aux chèvres de répondre aux variations de temps d'accès, tout en évitant une quantité trop importante de refus. La complémentation a été de 600 g/j de concentré pour toutes les chèvres dans les 3 essais. Cette quantité est dans la gamme 500 g - 800 g de concentré conseillée pour les chèvres au pâturage sur une prairie de bonne qualité et sans limitation de temps d'accès, c'est-à-dire supérieur à 10 h/j (Idele, 2011). Travailler sans apport de complémentation, comme cela est souvent pratiqué en vaches laitières, aurait conduit à des résultats difficilement transposables en pratique pour le moment. Certains traitements avec moins de 10 h/j de temps d'accès (c'est-à-dire sans sortie des animaux après la traite du soir) ont reçu en plus 400 g/j de fourrage déshydraté. En effet, en pratique, lorsque le temps d'accès est réduit et que les animaux ne ressortent pas après la traite du soir, un apport de fourrage complémentaire est réalisé. Dans le cadre des essais, une distribution de foin avec maîtrise des quantités ingérées individuellement n'était pas réalisable. Nous avons donc choisi du fourrage déshydraté facilement distribuable après la traite, au cornadis, grâce à la fabrication de chariots avec gamelles individuelles. La première année, nous avons utilisé un déshydraté maïs plante entière en bouchon de 0,8 cm de diamètre et de luzerne à 18 % de MAT en granulés, aliments présents sur l'exploitation. Le maïs de par sa richesse en amidon se rapprochait plus d'un concentré que d'un fourrage. Il a donc été décidé à partir de 2016 de distribuer seulement des bouchons 0,8 cm de diamètre de luzerne déshydratée 18 % de MAT, se rapprochant plus d'un bon foin.

La réponse à la quantité d'herbe offerte a été notre deuxième priorité, car en pratique, la valeur ajoutée permise par le lait de chèvre (plus élevé que le lait de vache) fait que le pâturage est plutôt de type libéral (offert à volonté) afin de ne pas réduire la production individuelle. Il nous a cependant semblé important d'étudier ce facteur car il est connu pour déterminer l'efficience d'utilisation des ressources pâturées (ingestion et production laitière par hectare). De plus, dans les années à venir, les questions à ce sujet sont susceptibles d'émerger, notamment pour des raisons économiques (faible coût de l'herbe, augmentation des coûts des intrants) ou d'utilisation des surfaces (en zones céréalières tout particulièrement). Deux essais ont été réalisés dont l'objectif a été de déterminer l'effet de la quantité d'herbe offerte quotidiennement sur l'ingestion et/ou la production laitière, ainsi que sur leur comportement alimentaire pour des chèvres conduites en pâturage rationné. La quantité d'herbe offerte a varié entre 1,6 et 3,1 kg MS/chèvre/j, avec trois niveaux testés par essai afin d'établir une loi de réponse. Nous avons choisi cette gamme dans le but d'avoir un niveau à volonté (plus de 3,0 kg MS/chèvre/j), un niveau moyen et un niveau limitant puisque proche ou inférieur à la capacité d'ingestion (inférieur à 2,0 kg MS/chèvre/jour). Toutes les chèvres ont reçu 600 g/j de concentré pour les mêmes raisons que celles évoquées dans les essais sur le temps d'accès. Le temps d'accès a varié entre 11 et 13 h/j afin qu'il soit non limitant pour l'ingestion et ne nécessitant pas de distribution de fourrage complémentaire.

Dans ces 5 premiers essais, nous avons fait le choix de conduire les animaux selon un pâturage rationné, permettant de connaître et de maîtriser la quantité offerte dans chaque essai et dans chaque lot, et d'éviter les variations inter-jours de l'offre d'herbe. Ces essais ont eu lieu à la ferme expérimentale INRA de Méjusseaume (UMR PEGASE, Le Rheu, 35), disposant d'installations nous permettant d'effectuer des essais analytiques factoriels et complémentaires au dispositif INRA Patuchev (UE FERLUS, Lusignan, 86) privilégiant une approche systémique et sur le long terme. Nous avons ainsi pu bénéficier de l'expérience, du matériel et des méthodes liées à la mesure d'ingestion individuelle au pâturage, et de la mesure du comportement par appareils portatifs, longuement pratiquées en vaches laitières sur ce site.

La variabilité interindividuelle est traitée en troisième question, car elle n'a pas de lien direct avec la prévision de l'effet des pratiques de gestion. Il nous a semblé cependant

intéressant de montrer la variabilité interindividuelle de l'ingestion et du comportement, et pas seulement les moyennes à l'échelle du troupeau. Une étude spécifique a donc été réalisée à Lusignan (Patuchev, UE FERLUS) pour bénéficier du caractère systémique, avec une gestion du pâturage selon un système tournant (majoritairement pratiqué dans les élevages). Nous avons aussi pu bénéficier de deux troupeaux pâturant à la même période de l'année avec des stades de lactation différents, et avec une proportion de primipares et multipares proche de ce qu'il existe en élevages commerciaux. Cet essai nous a ainsi permis d'étudier simultanément l'effet de la parité, du stade de lactation, de la production laitière, du poids vif et de la note d'état corporel (non disponible à Méjusseaume, Le Rheu) sur l'ingestion et le comportement alimentaire au pâturage. Dans cet essai les chèvres ont eu accès au pâturage plus de 10 h/j, avec une quantité d'herbe offerte de plus de 3,5 kg MS/chèvre/j et 600 g/j de concentré, toujours pour être dans des conditions proches des pratiques et non limitantes pour l'ingestion.

Le manque de méthodes validées d'estimation de l'ingestion des chèvres laitières au pâturage et l'utilisation courante et précise de l'oxyde d'ytterbium et de la méthode des index fécaux pour estimer l'ingestion au pâturage en vaches laitières (Peyraud, 1997 ; Penning, 2004 ; Pérez-Ramírez et al., 2012), nous a conduit à également utiliser cette méthode pour nos essais. Pour cela, il a fallu en parallèle de cette thèse effectuer des essais méthodologiques en box de digestibilité pour évaluer la précision de l'estimation de l'excrétion fécale grâce à l'oxyde d'ytterbium (validation des taux de récupération) et calibrer des équations de prévision de la digestibilité à partir des index fécaux (N et NDF). Dans ces essais, l'effet de l'apport de concentré, du niveau alimentaire, de l'âge de l'herbe et de l'apport de luzerne déshydratée ont été testés pour mimer les situations rencontrées dans nos essais au pâturage. Enfin le comportement alimentaire au pâturage a été enregistré grâce à l'accéléromètre uni-axial Lifecorder Plus Device, seul appareil fournissant la durée d'ingestion, le nombre et la durée des repas. Cet appareil préalablement validé chez les vaches laitières (Delagarde et Lamberton, 2015) a également fait l'objet d'une validation chez les chèvres laitières par observation visuelle pendant les essais au pâturage.

Même si j'ai été impliquée dans la réalisation des essais sur la validation des méthodes, les résultats détaillés ne seront pas présentés dans cette thèse, du fait d'un trop grand nombre d'essais (pâturage + auge). L'essentiel des résultats est donné **en Annexes.**

Chapitre 4 : Matériels et méthodes

Dans cette partie expérimentale est décrit le matériels et méthodes global des 6 essais réalisés : 3 sur le temps d'accès au pâturage, 2 sur la quantité d'herbe offerte et un sur la variabilité interindividuelle de l'ingestion. Le matériels et méthodes est écrit en français, il résume les objectifs des essais et des traitements choisis, les mesures effectuées dans les différents essais et les méthodes utilisées. Les matériels et méthodes complets de chaque essai sont décrits en anglais dans les articles correspondant dans les chapitres suivants.

I. Essais, traitements et schémas expérimentaux

Les 6 essais ont été réalisés entre 2015 et 2017, toujours au printemps c'est-à-dire entre Avril et Juin (**Tableau 4.1**). Les essais sur le temps d'accès au pâturage et la quantité d'herbe offerte ont été réalisés sur la ferme expérimentale INRA de Méjusseaume (**UMR PEGASE, Le Rheu, 35**) et l'essai sur la variabilité interindividuelle a été effectué sur le dispositif expérimental INRA Patuchev (**UE FERLUS, Lusignan, 86**).

I.1 Essais sur le temps d'accès et la complémentation (1TA, 2TA et 3TA)

Dans l'essai 1TA, l'objectif a été d'étudier la réponse laitière et comportementale des chèvres à la réduction du TA. Pour cela, trois TA de 4, 6 et 8 h/j entre les deux traites (respectivement TA4D, TA6D et TA8D) ont été appliqués. Les chèvres ont été complémentées avec 600 g/j d'un concentré commercial en deux fois par jour et 400 g/j de déshydraté (300 g maïs plante entière et 100 g luzerne) après la traite du soir. La QO a été de 2,0 kg MS/chèvre/j pour tous les traitements. L'essai s'est déroulé en continu sur une période de 21 jours, dont 7 jours d'adaptation.

Dans **l'essai 2TA**, les objectifs étaient d'étudier l'effet d'une restriction de temps d'accès à même niveau de complémentation et d'étudier la restriction de complémentation à même temps d'accès. Les traitements étaient donc un TA de 7 h/j entre les deux traites (TA7), un TA de 7 h/j entre les deux traites avec complémentation supplémentaire après la traite du soir (TA7D), et un TA de 11 h/j (TA11 ; 8 h entre les deux traites + 3 h le soir). Dans tous les traitements, la QO a été de 2,3 kg MS/chèvre/j et les chèvres ont reçu 600 g/j d'un concentré commercial distribué en deux fois. Dans le traitement TA7D, le complément reçu le soir par les chèvres était 400 g/j de luzerne déshydratée. L'essai s'est déroulé en continu sur une période de 21 j, dont 7 jours d'adaptation.

Tableau 4.1 Récapitulatif des traitements et principales caractéristiques de chaque essai de la thèse

Essai	**1TA**	**2TA**	**3TA**	**1QO**	**2QO**	**Indiv**
Lieu	Le Rheu	Le Rheu	Le Rheu	Le Rheu	Le Rheu	Lusignan
Date	2015 16/04 – 6/05	2016 1 – 22/04	2017 7/04 – 18/05	2015 27/05 – 17/06	2016 13/05 – 24/06	2017 6 – 16/06
Traitements[1]	TA4D TA6D TA8D	TA7 TA7D TA11	TA5D TA8D TA8 TA11	QO Faible QO Moyenne QO Elevée	QO Faible QO Moyenne QO Elevée	PLact FLact
Schéma expérimental	Continu	Continu	Carré latin 3×4	Continu	Carré latin 3×3	Continu
Périodes	1 de 21 j Adaptation 7 j Mesures 14 j	1 de 21 j Adaptation 7 j Mesures 14 j	3 de 14 j Adaptation 7 j Mesures 7 j	1 de 21 j Adaptation 7 j Mesures 14 j	3 de 14 j Adaptation 7 j Mesures 7 j	1 de 11 j Adaptation 5 j Mesures 6 j
TA (h/j)	4 ,6 et 8 h	7 et 11 h	5, 8 et 11 h	13 h	11 h	11 h
QO (kg MS/ch/j)	2,0	2,3	2,4	1,6 2,3 3,0	1,7 2,4 3,1	> 3,5
Compléments	600 g concentrés + 400 g de déshydraté (D	600 g concentrés + 0 g de déshydraté (D)	600 g concentrés + 400 g ou 0 g de déshydraté (D)	600 g de concentrés	600 g de concentrés	600 g de concentrés (graines entières)
Principales mesures[2]	PL, CA	QI, PL, CA	QI, PL, CA	PL, CA	QI, PL, CA	QI, PL, CA

[1]Traitements : TA4D, le chiffre après TA correspond au temps d'accès appliqué (ici 4 h), la présence du D indique l'apport de déshydraté ; PLact : Pleine lactation (110 j) ; FLact : Fin de lactation (260 j)

[2] PL : production laitière ; CA : comportement alimentaire ; QI : quantité ingérée

Dans **l'essai 3TA**, l'objectif a été d'étudier la réponse des animaux à la restriction du TA, à deux niveaux de complémentation différents, et aussi d'étudier la restriction de complémentation à même temps d'accès. Les temps d'accès ont donc été de 5 h (TA5D), 8 h (TA8D et TA8) et 11 h/j (TA11). Les chèvres des traitements TA5D, TA8D et TA8 ont eu accès entre les deux traites et celles du TA11 ont eu accès 8 h entre les deux traites et 3 h supplémentaires après la traite du soir. Dans tous les traitements, la QO a été de 2,4 kg MS/chèvre/j et les chèvres ont reçu 600 g/j de concentrés en deux fois par jour. Dans le traitement TA8D et TA5D, les chèvres ont reçu en plus 400 g/j de luzerne déshydratée après la traite du soir. L'essai a été conduit en carré latin incomplet 4 × 3 équilibré des effets rémanents avec 3 périodes de 14 jours chacune, dont 7 jours d'adaptation.

I.2 Essais sur la quantité d'herbe offerte

L'essai 1QO a eu pour objectif d'étudier l'effet d'une réduction de la quantité d'herbe offerte sur la production laitière et le comportement alimentaire. Les trois QO comparées ont été de 1,6 (Faible), 2,3 (Moyenne) et 3,0 (Elevée) kg MS/chèvre/jour au-dessus de 4 cm, en considérant que les chèvres étaient *ad libitum* sur le niveau élevé (INRA, 2010). Les chèvres ont toutes eu accès 13 h/j au pâturage (8,5 h entre les deux traites + 4,5 h après la traite du soir) et ont toutes reçu 600 g/j de concentré en deux fois par jour. L'essai a eu lieu en continu sur 21 jours dont 7 jours d'adaptation.

L'essai 2QO a eu pour objectif d'étudier l'effet d'une réduction de la quantité d'herbe offerte sur l'ingestion, la production laitière et le comportement alimentaire. Les trois QO comparées ont été de 1,7 (Faible), 2,4 (Moyenne) et 3,1 (Elevée) kg MS/chèvre/jour au-dessus de 4 cm, en considérant comme dans l'essai précédent que les chèvres étaient *ad libitum* sur le niveau élevé (INRA, 2010). Les chèvres ont toutes eu accès 11 h/j au pâturage (7,5 h entre les deux traites + 3,5 h après la traite du soir) et ont toutes reçu 600 g/j de concentrés en deux fois par jour. L'essai a été conduit en carré latin 3 × 3 équilibré des effets rémanents avec 3 périodes de 14 jours chacune, dont 7 jours d'adaptation.

I.3 Essais sur la variabilité interindividuelle

L'**essai Indiv** a eu pour objectif d'estimer la variabilité individuelle de l'ingestion d'herbe, notamment liée au stade de lactation des chèvres, par comparaison simultanée de

deux lots à deux stades de lactation différents. Les effets de la parité, de la production laitière et du poids vif ont aussi été étudiés. Le premier lot était en pleine de lactation (**PLact**, Stade : 110 j) au moment de l'essai du fait d'une reproduction en période de saison sexuelle naturelle (septembre) et le second en fin de lactation (**FLact**, Stade : 260 j) du fait d'une reproduction en contre-saison (avril). Les deux lots ont reçu 600 g/j de concentrés (500 g de maïs grain et 100 g de lupin) en deux fois par jour et une QO au pâturage non limitante, c'est-à-dire supérieure à 3,5 kg MS /chèvre/j. Le TA était de 11 h/j (6 h 30 entre les deux traites puis 4 h 30 après la traite du soir). L'essai Indiv s'est déroulé en continu sur une période de 11 jours, dont 5 jours d'adaptation.

Pour les essais réalisés au Rheu, le concentré distribué était un concentré commercial de mélange en granulés (21 g MAT/ kg MS). A Lusignan, le concentré était un mélange de maïs et lupin blanc distribué en graines entières (13 g MAT/ kg MS).

II. Animaux et conduite d'élevage

II.1 Constitution des lots

Pour l'ensemble des essais, les chèvres, toutes de race Alpine, ont été choisies parmi le troupeau complet après une semaine de référence pré-expérimentale. Les données enregistrées sur cette semaine de référence (parité, stade de lactation, poids vif, production laitière et composition du lait) ont été utilisées pour effectuer les mises en lots. Pour les essais réalisés au Rheu, la mise en lots a été effectuée grâce au logiciel « Miselots » (INRA, UMR PEGASE) permettant de minimiser les écarts inter-lots pour chaque variable utilisée. Les caractéristiques moyennes des chèvres ayant participé à chaque essai au Rheu sont présentées dans le **Tableau 4.2**.

Pour l'essai réalisé à Lusignan, il s'agissait de définir 3 niveaux de poids vif et de production laitière (faible, moyen et élevé) et de constituer les 9 combinaisons possibles (PV faible/PL faible ; PV faible/PL moyenne ; PV faible/PL élevée ; PV moyen/PL faible etc...). Ensuite, une primipare et 2 ou 3 multipares correspondant à chaque combinaison ont été sélectionnées dans chaque lot (PLact et Flact). Les caractéristiques moyennes des chèvres des deux lots sont également présentées dans le **Tableau 4.2**.

Tableau 4.2 Caractéristiques moyennes des chèvres de chaque essai durant la semaine de référence pré-expérimentale

Essai	**1TA**	**2TA**	**3TA**	**1QO**	**2QO**	**Ind**	
Lot[1]						**FLact**	**PLact**
Lieu	Le Rheu	Le Rheu	Le Rheu	Le Rheu	Le Rheu	Lusignan	
Semaine de référence	2015 4 – 10/04	2016 20/03 – 1/04	2017 27/03 - 2/04	2015 12 – 19/05	2016 30/04- 6/05	2017 15 – 19/05	
Nb de chèvres	36	36	48	36	36	64	
Primipares / Multipares	3/33	0/36	0/48	3/33	0/36	18/46	
N° Lactation	3,1 ±1,5	3,9 ±1,6	3,4 ±1,6	3,1 ±1,5	3,9 ±1,6	2,9 ±1,8	2,9 ±1,8
Stade lactation (j)	53 ±7,2	47 ±5,6	47 ±9	97 ±7,2	89 ±5,6	237 ±11	86 ±15
PL (kg/j)	3,0 ±0,5	3,7 ±0,6	3,9 ±0,5	3,1 ±0,4	3,7 ±0,6	2,2 ±0,8	2,8 ±0,7
TB (g/kg)	37,7 ±3,3	38,5 ±3,9	39,4 ±4,3	34,7 ±3,4	33,6 ±3,4	33,4 ±5,0	32,3 ±3,6
TP (g/kg)	30,7 ±2,4	31,0 ±2,7	31,4 ±2,4	30,0 ±2,3	29,7 ±2,5	34,4 ±2,9	30,8 ±2,6
PV (kg)	47,7 ±5,1	53,6 ±7,1	56 ±6,1	48,4 ±5,1	54,6 ±6,2	53,8 ±10	50,4 ±11

[1] Les deux lots n'étant pas identiques sur le stade de lactation, les caractéristiques des deux sont différenciés dans le tableau.

II.2 Conduite des animaux

Pour tous les essais, les lots ont été logés en bâtiment et conduits au pâturage séparément. Toutes les chèvres ont été logées sur aire paillée avec accès à l'eau et à des blocs de minéraux en bâtiment. Pour les essais comprenant des mesures d'ingestion (**Tableau 4.1**), la paille a été recouverte par des copeaux de bois trois jours avant le début des mesures afin d'éviter l'ingestion de paille par les chèvres.

Tous les essais ont été conduits avec des animaux en bi-traite. Les horaires de traite pour les essais au Rheu ont été compris entre 7 h et 7 h 30 le matin et entre 16 h et 16 h 30 l'après-midi. À Lusignan les horaires de traite ont été compris entre 7 h 30 et 8 h le matin et entre 16 h et 16 h 30 l'après-midi.

II.3 Prairies et gestion du pâturage

Tous les essais ont été conduits sur des prairies temporaires multi-spécifiques.

Les essais conduits au Rheu ont été réalisés sur une parcelle de 2 ha, implantée en 2011 selon la composition définie dans le **Tableau 4.3**. Cette parcelle a été découpée en 3 ou 4 blocs suivant les années, l'un étant utilisé en période pré-expérimentale, et les autres alternativement en période expérimentale. Chaque bloc expérimental a été découpé longitudinalement en 3 ou 4 paddocks par des clôtures électriques, suivant le nombre de

traitements, permettant à chaque lot de pâturer un paddock différent. Dans les essais sur le TA, où la QO était identique entre traitements, les largeurs de chaque paddock ont été similaires. Dans les essais sur la QO, la largeur des paddocks a été proportionnelle à la QO, permettant aux lots d'avancer globalement à la même vitesse. Le pâturage a été de type rationné avec un fil avant déplacé chaque jour et un fil arrière déplacé 2 à 3 fois par semaine. Occasionnellement, un des blocs a pu être fauché en début d'essai pour éviter des hauteurs d'herbe trop importante au moment de son pâturage. Après chaque changement de bloc, les fils intermédiaires séparant les lots ont été retirés et les zones de refus (pâturées) ou non pâturées (fond de parcelle) ont été fauchées, permettant une repousse homogène entre traitements pour les périodes à suivre. Les chèvres avaient toujours accès à l'eau au pâturage.

Tableau 4.3 Caractéristiques des prairies utilisées dans le cadre des essais et de leur gestion

	Prairie utilisée au Rheu		**Prairie utilisée à Lusignan**	
Année d'implantation	2011		2016	
Espèces, variétés et doses de semis	Ray-grass anglais (cv Tryskal) Fétuque élevée (cv Callina) Trèfle blanc (cv Trissid) Chicorée (cv Puna) Luzerne (cv Prunelle)	10 kg/ha 10 kg/ha 3 kg/ha 1 kg/ha 10 kg/ha	Brome sitchensis (cv Regain) Fétuque élevée (cv Iliade) Plantain lancéolé (cv Ceres Tonic) Luzerne (cv Luzelle) Luzerne (cv Speeda) Trèfle violet (cv Lestris) Trèfle blanc nain (cv Aberace) Coronille bigarrée (cv Lucor)	8 kg/ha 5 kg/ha 1 kg/ha 9 kg/ha 9 kg/ha 2 kg/ha 0,5 kg/ha 1,5 kg/ha
Système pâturage	Rationné		Tournant (2 j)	
Surface utilisée	2 ha		1 ha	
Eau disponible	Oui		Non	

A Lusignan, l'essai a été réalisé sur deux parcelles voisines (1 pour chaque lot) d'une surface de 0,5 ha chacune, implantées en avril 2016 avec le même mélange et conduites de façon similaire avant les essais (**Tableau 4.3**). Les parcelles ont préalablement été fauchées deux fois (3 Avril et 9 Mai 2017). Chaque parcelle de 0,5 ha a été divisée en 4 (A1, A2, B1 et B2), permettant de pâturer la zone A pendant les jours d'adaptation et la zone B pendant les jours de mesures suivant le système de pâturage tournant suivant : 2 jours en A1, 2 jours en A2, 1 jour en A (A1 + A2), puis 2 jours en B1, 2 jours en B2, 2 jours en B (B1 + B2). Les chèvres n'ont pas eu accès à l'eau au pâturage.

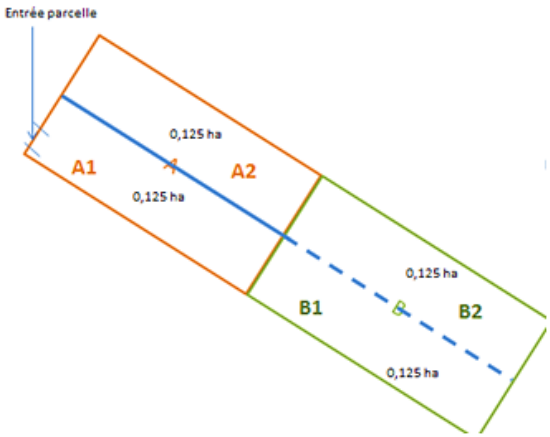

Figure 4.1 Organisation d'un pâturage d'une parcelle dans le cadre de l'essai Indiv à Lusignan

Pour tous les essais, en cas de jours de pluie réduisant le temps d'accès au pâturage, les chèvres ont pu recevoir un complément en foin en proportion du temps d'accès non réalisé comme dans les exemples **Tableau 4.4**. Le foin a été distribué en priorité après la traite du soir lorsque les animaux sont rentrés plus tôt, avec une possibilité de distribuer 30 % de la dose maximale de foin le matin en cas de pluie annoncée et retardant fortement la sortie au pâturage, et les 70 % restant le soir après la traite. Les quantités distribuées et refusées ont été pesées et notées pour chaque jour concerné.

Tableau 4.4 Complémentation en foin en cas de jours de pluie, en fonction du temps d'accès initial et par traitement dans l'essai 3TA.

TA5D		**TA8D et TA8**		**TA11**	
Temps d'accès réalisé (h/j)	Foin distribué (kg MB/chèvre)	Temps d'accès réalisé (h/j)	Foin distribué (kg MB/chèvre)	Temps d'accès réalisé (h/j)	Foin distribué (kg MB/chèvre)
0	2,0	0	2,0	0	2,0
0,5	1,8	1	1,8	1	1,8
1	1,6	2	1,5	2	1,6
1,5	1,4	3	1,3	3	1,4
2	1,2	4	1,0	4	1,2
2,5	1,0	5	0,8	5	1,0
3	0,8	6	0,5	6	0,8
3,5	0,6	7	0,3	7	0,6
4	0,4	8	0	8	0,4
4,5	0,2			9	0,2
5	0			10	0[1]
				11	0[1]

[1] Nous avons décidé de ne distribuer une complémentation en foin qu'à partir d'un temps d'accès au pâturage inférieur à 10 h/j, selon les recommandations de TA faites par l'Idele (2011).

III. Mesures sur les animaux

III.1 Production laitière et composition du lait

Pour les essais réalisés au Rheu, la production laitière a été enregistrée de façon automatique quotidiennement grâce aux compteurs à lait installés en salle de traite, ligne basse. A Lusignan, la production laitière a été enregistrée les 4 derniers jours de l'essai (**Tableau 4.5**), grâce à la disposition d'automates de contrôle laitier (Lactocorder®) sur les postes de traite en ligne haute. Dans tous les essais, la composition du lait (taux butyreux et protéique) a été déterminée matin et soir 4 à 6 jours par période (**Tableau 4.5**) par prélèvement d'échantillons de lait grâce à un gobelet directement sur les compteurs au Rheu, ou par l'intermédiaire des Lactocorders® à Lusignan. Les échantillons ont été analysés par spectrophotométrie dans le moyen infra-rouge (Milkoscan, Foss Electric, Hillerød, Danemark) par le laboratoire MyLab (Chateaugiron, 35) pour les essais réalisés au Rheu et par le LILCO (Surgères, 17) pour l'essai réalisé à Lusignan.

Tableau 4.5. Récapitulatif de toutes les mesures effectuées sur les chèvres pendant les différents essais.

Essai	**1TA**	**2TA**	**3TA**[1]	**1QO**	**2QO**[1]	**Indiv**
Périodes	1 de 21 j	1 de 21 j	3 de 14 j	1 de 21 j	3 de 14 j	1 de 11 j
Production laitière individuelle	Quotidiennement pour les essais TA et QO					J7 S à J11 M
Composition du lait	J8, 9, 13, 14, 20 et 21	J11, 12,13, 18, 19 et 20	J11 à 14	J8, 9, 13, 14, 20 et 21	J11 à 14	J7 S à J10 M
Poids vif	J1, 21 et 24	J0 et J22	J1 et 15	J1, 21 et 24	J1 et 15	J1 et J11
Ingestion	ND	J16 S à J21 M	J9 S à J14 M	ND	J9 S à J14 M	J5 S à J10 M
Comportement alimentaire	J15 à J21	J15 à J21	J7 à J14	J15 à J21	J7 à J14	J5 à J10
Métabolites sang	ND	J22	J15	ND	J15	J11

ND : Non déterminée pendant l'essai

J1 correspond au premier jour de l'essai ; M : Matin ; S : Soir

[1]Les jours de mesures indiqués dans les essais en carré latin sont répétés à chaque période.

III.2 Poids vif

Le poids vif a été mesuré le lendemain du dernier jour de chaque essai (essais en continu) ou de chaque période (essais en carré latin), le matin après la traite et avant la sortie au pâturage des animaux, sur balance électronique. Dans les essais effectués en continu (1TA, 2TA et 1QO), un poids vif post-expérimental (3 jours après le poids vif de fin d'essai) a été mesuré lorsque les chèvres des différents traitements étaient regroupées en

un lot unique et dans les mêmes conditions alimentaires. Cela a permis d'analyser le poids vif de fin d'essai corrigé des variations de poids du contenu digestif liées aux traitements expérimentaux (Agabriel et Giraud, 1988).

III.3 Métabolites sanguins

Une prise de sang a été effectuée le dernier jour de chaque essai après la pesée (sauf 1TA et 1QO) pour déterminer la glycémie, l'urémie et la teneur en Acide Gras Non Estérifiés (AGNE) du sang. Le prélèvement a été effectué dans la veine jugulaire dans un tube Vacutainer contenant de l'héparine de lithium. Après centrifugation (2 000 × g à 4°C pendant 15 min), le plasma a été stocké à -20°C jusqu'à l'analyse.

III.4 Estimation des quantités ingérées d'herbe

Les quantités ingérées d'herbe n'ont pas été déterminées dans les essais 1TA et 1QO. La méthode de mesure des quantités ingérées d'herbe (**HI**) a été la même dans les essais 2TA, 3TA, 2QO et Indiv.

Au démarrage de la thèse, il n'existait pas de méthode validée d'estimation de l'ingestion des chèvres sur prairies. La seule méthode disponible était celle testée par Meuret (1989), pour estimer l'ingestion des chèvres sur parcours avec consommation d'espèces ligneuses comme le Chêne vert, en utilisant l'oxyde de chrome comme marqueur pour estimer l'excrétion fécale et la méthode des composantes botaniques pour estimer la digestibilité de la ration. Notre choix s'est porté sur la méthode indirecte des index fécaux (Peyraud, 1997 ; Penning, 2004) pour prévoir la digestibilité et sur l'utilisation de l'oxyde d'ytterbium (Yb) pour estimer la quantité de fèces excrétée quotidiennement, méthode utilisées pour la prévision de l'ingestion des vaches laitières au pâturage (Delagarde et al., 2010 ; Pérez-Ramírez et al., 2012). Il a donc fallu en parallèle de la thèse effectuer des essais méthodologiques à l'auge pour calibrer et valider les méthodes (taux de récupération de l'Yb et équation de prévision de la digestibilité). Le taux de récupération fécal de l'Yb a été très proche de 1,0, quelle que soit la situation alimentaire, ce qui permet d'estimer sans biais l'excrétion fécale. L'équation de prévision de la digestibilité a été calibrée sur des rations à base d'herbe verte, incluant des proportions et des natures de compléments différentes. La synthèse de ces travaux, présentée en **Annexe 1**, montre que notre choix méthodologique était pertinent, avec une erreur moyenne de prévision proche de 10 %, valeur identique à la précision observée en vaches laitières.

L'ingestion a été mesurée pendant les 5 derniers jours de chaque période (**Tableau 4.5**). La quantité de fèces excrétée quotidiennement a été évaluée par la dilution de l'Yb incorporé dans un concentré. Le concentré Yb était composé des aliments suivants sur la base de la matière brute : blé, 35 %; son de blé, 29,5 %; tourteau de soja, 16 %; maïs, 15 %; mélasse, 4 %; oxyde d'ytterbium, 0,5 %. Durant les essais, les chèvres recevaient 15,0 g (± 0,1 g) de concentré Yb après chaque traite, soit 0,13 g/j d'Yb. Les fouilles rectales pour la collecte de fèces ont eu lieu les matins et soirs après la traite, de J10 soir à J15 matin (Essais 3TA et 2QO) ou de J6 soir à J11 matin (Essai Indiv), soit durant 10 traites consécutives. Les fèces étaient ensuite stockées à +4°C et regroupées par chèvre et par période avant d'être séchées en étuve ventilée (72 h à 60°C), puis broyées à la grille de 0,8 mm et analysées. Ensuite la HI a été calculée selon l'Equation 1 (Pérez-Ramírez et al., 2012) :

$$HI = \frac{1}{MO_H} \times \left(\frac{\frac{D_{yb}}{F_{yb}}}{(1\text{-}dMO_R)} - MOI_C \right) \qquad \text{(Eq. 1)}$$

Où HI représente la quantité de MS d'herbe ingérée (kg MS/j); MO_H représente la concentration en MO de l'herbe ingérée (g/kg MS); D_{yb} représente la dose quotidienne d'Yb distribuée (mg Yb/j); F_{yb} représente la concentration en Yb des fèces (mg/ kg MO); MOI_C représente la quantité de MO ingérée par les compléments (kg MO/j) et dMO_R représente la digestibilité de la MO de la ration calculée à partir de l'Equation 2 :

$$dMO_R = 0{,}922 + \frac{(-0{,}0194 + \Delta)}{FMAT} - 0{,}445 \times FADF^2 \qquad \text{(Eq. 2)}$$

(n= 41, R^2 = 0,82, ETR = 0,017)

Où Δ = -0,00192 dans le cas d'une ration avec apport de luzerne déshydratée ; Δ = + 0,00192 dans le cas d'une ration sans apport de luzerne déshydratée ; FMAT représente la teneur en MAT des fèces (g/g MO) et FADF représente la teneur en ADF des fèces (g/g MO).

Les bilans UFL et PDI individuels ont été calculés d'après les tables INRA (2010) et les apports ont été exprimés en proportion de la couverture des besoins. Les besoins en UFL et PDI pour l'entretien et la production laitière ont été calculés à partir du poids vif et de la production laitière standardisée à 3,5% de MG (PLS_{35}) (INRA, 2010). Les apports UFL et PDI ont été calculés à partir de la HI et de la MS ingérée des compléments (QI_C), ainsi que de leurs teneurs respectives en UFL et en PDI. Les valeurs UFL et PDI de l'herbe offerte et ingérée ont été calculées à partir de leur composition chimique respective et selon les

équations INRA (2010). La perte de valeur énergétique des rations du fait des interactions digestives liées au niveau d'ingestion a été considérée dans les calculs (INRA, 2010).

III.5 Enregistrement du comportement alimentaire d'ingestion

Le comportement alimentaire des chèvres au pâturage a été enregistré dans tous les essais grâce à l'appareil 'Lifecorder Plus' (LCP, Suzuken Co. Ltd., Nagoya, Japon) positionné sur un collier dans une boîte étanche. Il est basé sur un accéléromètre uni-axial qui enregistre l'accélération toutes les 4 secondes, et qui fournit de façon synthétique sous forme de fichier csv une note d'activité moyenne comprise entre 0 et 9 toutes les 2 min. Cet outil a été préalablement validé en vaches laitières (Delagarde et Lamberton, 2015). En parallèle de la thèse, la précision de l'appareil a également été validée chez les chèvres laitières au pâturage sur 173 h d'observations visuelles, avec une erreur moyenne de prévision à l'échelle de l'heure de 5,4 min/h, soit 9 %, ce qui suggère une erreur très faible à l'échelle de la journée et une bonne précision de l'appareil (**Annexe 2** ; Delagarde et al., 2018b).

En 2015 et 2016, le nombre d'appareils disponibles par lot étant de 7. Ceux-ci étaient donc posés sur 7 chèvres de chaque lot de 12 chèvres en début de chaque période de mesures. Puis en milieu de période de mesure, les appareils étaient retirés des animaux, les données exportées et vérifiées et les appareils reposés sur les 5 chèvres restantes, plus deux chèvres dont les données récoltées en début de période n'étaient pas totalement satisfaisantes. Cela permettait d'avoir pour chaque chèvre des données comportementales sur un minimum de 3-4 jours. Grâce à l'acquisition de nouveaux appareils en 2017, toutes les chèvres de l'essai 3TA étaient équipées simultanément. En milieu de période d'enregistrement, les appareils ont été déposés et reposés à l'aveugle sur les chèvres d'un autre traitement, évitant ainsi en cas de dysfonctionnement la perte de données sur une ou plusieurs chèvres d'un même lot et pour toute la période. Ainsi nous avons pu enregistrer jusqu'à 8 jours de comportement par chèvre et par période.

A Lusignan, n'ayant que 32 lifecorders disponibles pour l'essai, 16 appareils ont été posés dans chaque lot en début de période d'enregistrement. Les appareils ont ensuite été reposés sur les chèvres non préalablement équipées en milieu de période d'enregistrement permettant donc un enregistrement de 3-4 jours par chèvre.

Plusieurs étapes de traitement des données et de calculs ont été nécessaires pour obtenir la durée d'ingestion. L'accélération mono-axiale de la tête de la chèvre associée au mouvement de pâturage est caractérisée par une intensité sur une échelle de 0 à 9 sauvegardés par tranche de 2 min. La **Figure 4.2 A** représente l'activité brute enregistrée par le lifecorder sur une journée de pâturage de 11 h. Grâce à la validation par observation visuelle (**Annexe 2**) on a pu définir que pour une intensité au-dessus de 0,5, il s'agissait d'une activité de pâturage. Ainsi, si l'activité moyenne d'une séquence de 2 min est supérieure à 0,5 on attribue la note de 2 (soit 2 min de pâturage). Si l'activité est inférieure à 0,5 on attribue la note de 0 (soit 0 min de pâturage). Ensuite, les séquences d'ingestion courtes isolées (* ; de 2 ou 4 min) ainsi que les périodes courtes d'arrêt du pâturage intra-repas (** ; 2 ou 4 min) n'ont pas été considérés, comme cela est illustré sur la **Figure 4.2 B** à respectivement 16:00 et 11:15.

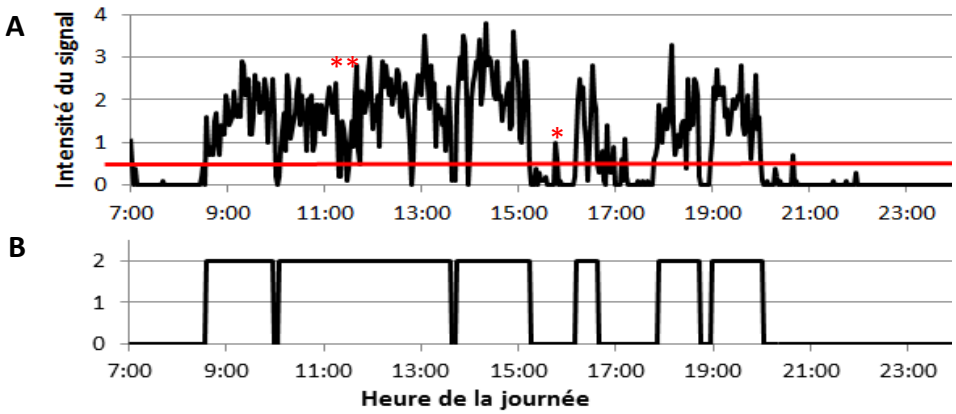

Figure 4.2 Activité brute enregistrée par le Lifecorder (**A**) avant traitement et retrait des séquences courtes (*) et des intra-repas courts (**), puis après traitement des données (**B**).

Un repas est donc défini comme une période d'activité supérieure ou égale à 6 min, séparé par une période d'inactivité d'au moins 6 min. Les activités annexes enregistrées en dehors des périodes au pâturage (chemins, traite, chèvrerie) ne sont également pas considérées. La durée d'ingestion (min/j) a été finalement obtenue par la somme de la durée de tous les repas. Le pourcentage de temps passé à pâturer a été déterminé en divisant la durée d'ingestion (min/j) par le temps d'accès au pâturage (min/j). La durée moyenne d'un repas a été déterminée en divisant la durée d'ingestion (min/j) par le nombre de repas par jour. La durée du premier repas (min) a également été déterminée.

IV. Mesures sur les prairies et les aliments

IV.1 Biomasse et densité

La biomasse exprimée en kg MS/ha est obtenue à partir de la relation suivante : $BIOM_4 = D \times (HEcc - 4)$ où $BIOM_4$ représente la biomasse mesurée à 4 cm au-dessus du sol (en kg MS/ha) ; D représente la densité du couvert (en kg MS/ha/cm) et HEcc représente la hauteur en entrée de parcelle corrigée de la croissance (en cm).

Au Rheu, pour mesurer la densité, 2 bandes de 0,5 × 5 m par traitement ont été coupées à une hauteur de 4 cm à l'aide d'une motofaucheuse, 1 à 2 fois par semaine (**Tableau 4.6**). A Lusignan, 6 bandes de 0,7 × 5 m ont été réalisées sur une surface de 0,25 ha proposé à chaque lot à J-5 et J-2 avant l'entrée sur la parcelle. L'herbe récoltée sur chaque bande a été pesée et un échantillon de 500 g par bande a été prélevé pour déterminer la teneur en MS de l'herbe et donc la biomasse (kg MS/ha). Avant et après la fauche, la hauteur a été mesurée sur chaque bande à l'aide d'un herbomètre électronique (30 × 30 cm, 4,5 kg/m², Aurea Agrosciences, Blanquefort, France) à raison de 10 mesures par bande. La densité (kg MS/ha/cm) a alors été calculée en divisant la biomasse de chaque bande par la différence de hauteur herbomètre avant et après la coupe. La hauteur mesurée en entrée de parcelle (voir ci-dessous) a été corrigée par la croissance d'herbe estimée entre le jour de la mesure et le jour d'entrée réel dans la parcelle. Cette croissance a été estimée par une double mesure de la hauteur d'une zone prédéfinie, à environ 7 jours d'intervalle, avant l'entrée des animaux.

IV.2 Composition chimique de l'herbe offerte

La composition chimique de l'herbe offerte a été déterminée sur un sous-échantillon de 500 g d'herbe par bande moto-fauchée, prélevés les jours concernés (**Tableau 4.6**), groupés et lavés par traitement pour éliminer les résidus de terre, puis séchés 48 h à 60°C en étuve ventilée avant d'être analysés par période et par traitement.

IV.3 Hauteur Herbomètre en entrée et sortie de parcelle

Au Rheu, les hauteurs d'herbe ont été mesurées chaque jour par traitement à raison d'environ 30 mesures par zone à pâturer le lendemain et pâturée la veille, le matin avant la

sortie des animaux. Ces mesures permettaient de caractériser la prairie avant et après pâturage. La mesure de hauteur en entrée permettait également de calculer, avec la densité, la biomasse présente chaque jour, et donc la surface à offrir le lendemain dans chaque lot.

A Lusignan, les hauteurs en entrée de parcelle étaient mesurées également tous les matins avant l'entrée des animaux sur la parcelle. La hauteur était aussi mesurée à la sortie des animaux après la fin de l'exploitation de chaque parcelle (A ou B).

Pour tous les essais, l'herbomètre utilisé était du même type que celui utilisé au Rheu (30 × 30 cm, 4.5 kg/m², Aurea Agrosciences, Blanquefort, France)

Tableau 4.6 Récapitulatif des mesures effectuées sur les prairies et sur les aliments

Essai	**1TA**	**2TA**	**3TA**[1]	**1QO**	**2QO**[1]	**Indv**
Période	1 de 21 j	1 de 21 j	3 de 14 j	1 de 21 j	3 de 14 j	1 de 11 j
Biomasse	J0, 9, 13, 19	J-2, 4, 8, 13 et 18	J0, 6 et 12	J0, 8, 13,17	J1, 6 et 11	J-5 et 3
Composition chimique herbe offerte	J9, 13, 19	J13 et 18	J6 et 12	J8, 13 et 17	J6 et 11	J3
Hauteur Entrée/Sortie Herbomètre	Tous les matins (sauf week-end)					E : tous les matins S : J5 et 11
Hauteur Entrée : Talles étirées	J8, 14, 19	J14, 18 et 20	J11 et 13	J7, 10 et 21	J11 et 13	ND
Hauteur Sortie Talles étirées	J13, 15, 20 et 22	J15, 19 et 21	J12 et 14	J8, 14, 20 et 22	J12 et 14	ND
Herbe Piétinée	ND	J15, 19 et 21	J12 et 14	ND	J12 et 14	ND
Composition chimique herbe ingérée	J7, 12, 15 et 20	J14, 15 et 18 à 20	J11 à 14	J6, 10, 14 et 20	J11 à 14	ND
Composition botanique	J7, 12, 15 et 20	J14	J8	J6, 10, 14 et 20	J8	J-3 et 3
Echantillonnage des aliments	J6, 14 et 21	J14 et 15, J18 à 21	J11 à 13	J8, 14 et 21	J11 à 14	J2, 5, 7 et 9

ND : Non déterminée dans l'essai

J1 correspond au premier jour de l'essai ; M : Matin ; S : Soir

[1]Les jours de mesures indiqués dans les essais en carré latin sont répétés à chaque période.

IV.4 Hauteur des talles étirées

Les hauteurs de talles et gaines étirées ont été mesurées au champ et à la règle graduée sur 50 talles pour l'offert et 100 talles pour les refus dans les essais concernés.

La longueur de limbe était déterminée par soustraction entre la hauteur de la talle et de la gaine. Après pâturage, la proportion de talles défoliés jusqu'à la gaine était calculée comme la proportion de talles dont la feuille principale était totalement défoliée.

IV.5 Proportion de la surface piétinée

Dans certains essais, du fait des hauteurs d'herbe importantes et de zones d'herbe piétinée importantes, une mesure de la proportion de la surface piétinée a été mise en place. Il s'agissait de lancer un quadrat en métal 20 × 40 cm au hasard dans la zone pâturée la veille et d'estimer la surface du quadrat où l'herbe était piétinée, sur une échelle de 0 à 5 (0 : pas d'herbe piétinée dans le quadrat ; 5 : herbe piétinée sur toute la surface du quadrat). La mesure était répétée 20 fois par traitement. En additionnant les 20 notes, on obtenait un pourcentage d'herbe piétinée. La mesure était effectuée juste avant les mesures de hauteur de talles en sortie de parcelle.

IV.6 Composition chimique de l'herbe ingérée

Dans les essais réalisés au Rheu, un échantillon représentatif de la fraction ingérée par les chèvres était prélevé par traitement sous le fil avant (zone non pâturée), en mimant avec des ciseaux la profondeur de défoliation observée de l'autre côté du fil (zone déjà pâturée). Le prélèvement était réalisé par poignées sur toute la largeur de la parcelle afin d'obtenir un échantillon d'environ 500 g par jour et par traitement. Chaque échantillon a été séché puis regroupé par traitement et période, avant broyage et analyses.

IV.7 Composition botanique

Dans la majorité des essais, la composition botanique a été évaluée sur l'herbe à offrir dans les 5-6 derniers jours de chaque essai ou période, en prélevant dans la zone concernée entre 50 et 60 poignées en suivant un circuit en W, sauf, pour les essais 1TA et 1QO où la composition botanique a été effectué sur une partie de l'échantillon représentatif de l'herbe ingérée.

Les prélèvements ont ensuite été triés en six catégories : graminées, trèfles, chicorée, pissenlit, plantain fourrager, luzerne et autres. Chaque catégorie a ensuite été séchée en étuve afin de déterminer la composition botanique sur la base des proportions en MS.

IV.8 Teneur en MS des compléments

La teneur en MS des concentrés et des fourrages déshydratés a été déterminée dans chaque essai sur 3 à 4 échantillons de 100 g de matière brute par période (**Tableau 4.6**).

V. Analyses chimiques

La teneur en MS de tous les échantillons a été mesurée par séchage en étuve ventilée à 60°C, 48 h pour les échantillons d'herbe et de compléments et 72 h pour les fèces. Tous les échantillons secs ont ensuite été broyés à travers une grille de 0,8 mm avant les analyses chimiques. Les analyses chimiques ont toutes été réalisées au laboratoire de l'INRA de l'UMR PEGASE de Saint- Gilles (35).

La concentration en MO a été déterminée par incinération à 550°C pendant 5 h dans un four à moufle (Association Française de Normalisation, 1997). La teneur en azote a été déterminée par la méthode Dumas (Association Française de Normalisation, 1997) sur un appareil Leco (Leco, St Joseph, MI). Les teneurs en NDF, ADF, ADL ont été mesurées selon la méthode de van Soest et al. (1991) sur une unité d'extraction Fibersac (Ankon Technology, Fairport, NY). La digestibilité de la pepsine cellulase a été déterminée selon la méthode de Aufrère et Michalet-Doreau (1988) par le laboratoire GIP LABOCEA (Ploufragan, 22). La concentration en oxyde d'ytterbium a été déterminée par spectrométrie d'absorption atomique avec une flamme d'oxyde nitreux/acétylène après calcination et digestion dans l'acide nitrique selon Siddons et al. (1985). La concentration en métabolites du sang a été obtenue grâce à un analyseur multi-paramètres (KONE Instruments 200 Corporation, Espoo, Finlande).

VI. Analyses statistiques

Dans tous les essais, la semaine d'adaptation n'a pas été considérée dans les analyses statistiques. Les éventuels jours de pluie ou lendemain de pluie ayant franchement perturbé les réponses des animaux ont également pu être retirés.

Les données sur les caractéristiques de l'herbe et de la prairie ont été moyennées par traitement et par semaine (**Tableau 4.7**) ou par traitement et par période (4,8) et analysées par analyse de variance selon Proc GLM (Sas Institute, 2008).

Les données animales ont été moyennées par chèvre et par période pour tous les essais. Pour les essais menés en continu, les données animales ont été analysées selon PROC GLM (**Tableau 4.7** ; Sas Institute, 2008) avec une co-variable comme facteur pour la production laitière, la composition du lait et le poids (données de la semaine de référence), et sans co-variable pour les données de comportement, d'ingestion et les métabolites sanguins. Pour les essais en carré latin, les données ont été analysées selon le PROC MIXED (SAS Institute, 2008) en considérant l'effet chèvre comme aléatoire (**Tableau 4.8**).

Pour l'essai à Lusignan, les données animales moyennées par chèvre et par lot et ont été analysées selon le PROC GLM (SAS Institute, 2008) selon le modèle suivant :

$$Y_{ij} = \mu + stade_i + parité_j + [stade_i \times parité_j] + \varepsilon_{ij}$$

Avec Y, la variable analysée ; μ, la moyenne générale ; stade, l'effet fixe du stade de lactation; parité, l'effet fixe de la parité ; [stade × parité], l'interaction entre le stade et la parité ; ε, l'erreur résiduelle du modèle.

Dans tous les essais, les comparaisons deux à deux entre les traitements ont été testées par un T-test de Student et sont présentées dans les résultats en lettre minuscules dans les tableaux si P<0,05.

Tableau 4.7 Modèles statistiques en fonction des données concernées dans le cadre des essais suivant un schéma expérimental en continu (essais 1TA, 2TA, 1QO)

Données	Modèles[1]
Données herbe et prairie	$Y_{ij} = \mu + traitement_i + semaine_j + \varepsilon_{ij}$
Données animales avec **co-variable**	$Y_{ij} = \mu + cov_i + traitement_j + \varepsilon_{ij}$
Données animales sans co-variable	$Y_i = \mu + traitement_i + \varepsilon_i$

[1] Avec Y, la variable analysée ; μ, la moyenne générale ; traitement, l'effet fixe du traitement (TA, QO) ; cov, la covariable, ε, l'erreur résiduelle du modèle.

Tableau 4.8 Modèles statistiques en fonction des données concernées dans le cadre des essais suivant un schéma expérimental en carré latin

Données	Modèles[1]
Données herbe et prairie	$Y_{ij} = \mu + traitement_i + période_j + \varepsilon_{ij}$
Données animales	$Y_{ijk} = \mu + animal_i + période_j + traitement_k + \varepsilon_{ijk}$

[1] Avec Y, la variable analysée ; μ, la moyenne générale, animal, l'effet aléatoire de la chèvre ; période, l'effet fixe de la période ; traitement, l'effet fixe du traitement (TA, QO) ; ε, l'erreur résiduelle du modèle.

Chapitre 5 : Effet du temps d'accès et de la complémentation

I. Essai 1TA : Réponse laitière et adaptation comportementale des chèvres laitières à une restriction du temps d'accès au pâturage

Les résultats de cet essai ont fait l'objet d'une publication :

Charpentier, A., Delagarde, R., 2018. Milk production and grazing behaviour responses of Alpine dairy goats to daily access time to pasture or to daily pasture allowance on temperate pastures in spring. Small Ruminant Research. 162, 48–56.

Résumé

L'objectif de cet essai a été de quantifier la réponse de production laitière et l'adaptation comportementale des chèvres à une restriction du temps d'accès journalier (TA) au pâturage.

L'essai s'est déroulé au printemps (avril-mai), sur une seule période de 21 jours dont 7 jours d'adaptation et 14 jours de mesures. Les trois temps d'accès comparés ont été de 4, 6 et 8 h/j, entre les deux traites. Les chèvres ont toutes reçu 556 g MS/j de concentré, distribué en deux fois par jour, et 370 g MS/j de fourrage déshydraté, distribué après la traite du soir. La quantité d'herbe offerte a été de 2,0 kg MS/chèvre/j (> 4 cm). Les caractéristiques initiales moyennes des trente-six chèvres Alpine, dont 3 primipares, ont été : 53 ± 7 jours de lactation, 3,0 ± 0,5 kg/j de lait et 47,7 ± 5,1 kg de poids vif. Les mesures réalisées sur les chèvres ont été la production et la composition du lait ainsi que la durée d'ingestion journalière et la répartition des activités de pâturage au cours de la journée (Lifecorder). Les caractéristiques de la prairie ont été mesurées (biomasse, surface offerte, hauteur, structure, composition botanique et chimique).

Les caractéristiques de l'herbe offerte ont été dans l'ensemble similaires entre les traitements. La hauteur herbomètre en entrée de parcelle était de 16,7 cm et la biomasse de 2660 kg MS/ha. Après pâturage, la hauteur mesurée à l'herbomètre, la hauteur étirée des gaines et la longueur étirée des limbes n'ont pas été affectées par le TA et ont été en moyenne de 6,3, 7,8 et 3,8 cm, respectivement. La proportion de talles défoliées jusqu'à la gaine a été de 16 % en moyenne et non affectée par le TA. La teneur en NDF (460 g/kg MS)

et en MAT (208 g/kg MS) de l'herbe ingérée ont été similaires entre traitements. La dMO de l'herbe ingérée a augmenté de 0,776 à 0,791 lorsque le TA a été réduit de 8 h à 4 h/j d'accès.

La production laitière a été de 3,21 kg/j en moyenne et a été plus faible de 300 g/j avec 4 h d'accès qu'avec 6 ou 8 h/j d'accès. Les taux butyreux et protéique n'ont pas été affectés par le TA. La production laitière standard 3,5% a été la plus faible avec 4 h/j (3,04 kg/j) et la plus élevée avec 6 h/j d'accès (3,38 kg/j). Le poids vif a été plus faible de 2,0 kg avec un accès de 4 h/j qu'avec un accès de 6 ou 8 h/j.

La durée d'ingestion a été en moyenne de 310 min/j. Elle a diminué de 16 min entre l'accès de 8 h et l'accès de 6 h/j et de 100 min/j entre l'accès de 6 h et l'accès de 4 h/j. La proportion du temps passé à pâturer a augmenté avec la réduction du temps d'accès, de 75 % avec un accès de 8 h/j, à 99 % avec un accès de 4 h/j. L'activité de pâturage a été intense dans tous les traitements. Les chèvres ont donc montré une grande flexibilité comportementale face à une large variation de TA, notamment à travers une importante concentration de l'activité de pâturage et probablement une augmentation de la vitesse d'ingestion (baisse de production de seulement 10 % alors que la durée d'ingestion a diminué de 30 % entre les traitements 6 h et 4 h/j d'accès).

En conclusion, cet essai montre que les chèvres laitières recevant 600 g/j de concentré et 400 g/j de fourrage déshydraté peuvent s'adapter à une restriction du temps d'accès jusqu'à 6 h/j, alors qu'un temps d'accès de 4 h/j d'accès au pâturage semble au contraire limitant et entraîne une baisse de production laitière.

Milk production and grazing behaviour responses of Alpine dairy goats to daily access time to pasture or to daily pasture allowance on temperate pastures in spring

A. Charpentier, R. Delagarde
PEGASE, INRA Agrocampus Ouest, 16 Le Clos, F-35590 Saint-Gilles, France

Keywords: Grazing, Dairy goat, Access time, Behaviour

A B S T R A C T

In a context of price volatility and low feed self-sufficiency of goat farms in Western Europe, grazing may play an important role. Knowledge about the impact of grazing management – particularly daily access time to pasture or pasture allowance – on dairy goats' performance is scarce. A 3-week trial was carried out in spring with 36 Alpine goats in mid-lactation. Three access times to pasture during daytime (AT: 4, 6 or 8 h/day, from 08:00 to 12:00, from 10:00 to 16:00 and from 08:00 to 16:00, respectively) were compared. In each treatment, goats individually received 370 g DM of dehydrated forage (lucerne and maize) after the evening milking, 278 g DM of concentrate twice daily, at each milking, and a daily pasture allowance of 2.0 kg DM/goat, measured at 4 cm above ground level. Milk production was similar between medium and high levels of AT, and was lower for the lowest level of AT (−300 g/d at the lowest AT). Milk fat and protein concentrations only slightly varied between the different levels of AT. Goats maintained an intense grazing activity. Grazing time (from 240 to 354 min/d) and proportion of time spent grazing (from 75 to 99%) were mainly affected by AT.

1. Introduction

Grazing in intensive dairy goat systems is known to improve feed self-sufficiency, while reducing production costs and environmental issues (Nahed et al., 2006; Ruiz et al., 2009). However, in temperate regions of Western Europe, the number of farms using grazing to feed goats significantly decreased over several decades, due to the development of large herds (Brocard et al., 2016), high parasitism occurrence and anthelmintic resistance (Hoste et al., 2002), and difficulty of grazing management (Lefrileux et al., 2008). Nowadays, with the increase in input prices, the specifications required for a protected designation of origin, the development of organic farming and consumers' demands for natural products, grazing can reclaim an important place in goat's feeding systems. To do so, more knowledge about the relationship between grazing management and goat performance is required.

Sward structure (sward height, pasture mass, leaf:stem ratio), grazing pressure (stocking rate, pasture allowance, post-grazing sward height), and daily access time to pasture, are known to be important factors affecting pasture intake and milk production of lactating ruminants (Poppi et al., 1987; Penning et al., 1994; Delagarde et al., 2011). Very few studies have been carried out on the impact of grazing management on dairy goats (Lefrileux et al., 2008). The effects of daily access time to pasture on milk production and behaviour of dairy goats grazing on improved temperate pastures are unknown, although there have potentially important practical implications for herd and grazing management on farms. Meat goats seem able to adapt to short access times (4 h vs 8 h/d) to pasture by increasing their pasture intake rate by 25–30% (Berhan et al., 2005; Romney et al., 1996), but the ability of lactating dairy goats to overcome time constraints and to maintain milk production under short access times to pasture is unknown.

This study aims to quantify milk production responses as well as the behavioural adaptation of dairy goats to variations of daily access time to pasture while grazing improved temperate pastures in spring.

2. Materials and methods

2.1. Experiments, treatments and experimental design

The 3-week trials were carried out in spring 2015, from 16 April to 6 May, at the INRA experimental dairy farm of Méjusseaume (1.71°W, 48.11°N, Le Rheu, Brittany, France). Procedures relating to care and management of animals for this trial were approved by an animal care committee of the French Ministry of Agriculture, in accordance with French regulations (decree-law 2001–464, 29 May 2001).

Three daily access times to pasture (4, 6 or 8 h/d, namely AT4, AT6 and AT8, respectively) were compared. Goats had access to the pasture between both milkings,

from 08:00 to 12:00 (AT4), from 10:00 to 16:00 (AT6) or from 08:00 to 16:00 (AT8).

The hours of access to pasture for each level of AT were decided as a compromise between several factors to be considered, with the main objectives being to avoid large variations in the chemical composition of the diet selected between treatments, and to limit any possible behavioural disturbance of the goats upon the arrival or departure of groups of goats at pasture. Regardless of the selected hours, the first main meal started in the morning in all treatments, preventing large variations of soluble carbohydrates concentration in leaves (Delagarde et al., 2000), and there were always at least two groups of goats grazing simultaneously. For each treatment, the daily pasture allowance was 2.0 kg DM/goat. Each goat received 278 g DM of a commercial concentrate through an automatic feeder in the milking parlour twice daily (i.e. 556 g DM/d). Because goats had no access to pasture between PM and AM milkings, they individually received 400 g/d of dehydrated forage (300 g of maize and 100 g of lucerne, i.e. 370 g DM/d) after the PM milking (**Table 5.1**). The concentrate consisted of the following ingredients on a dry matter basis: barley, 28%; sugar beet pulp, 24%; soyabean meal, 23%; lucerne, 11.5%; wheat bran, 6%; molasses, 3%; linseed, 2%; vegetable oils, 1%; sodium chloride, 0.5%.

Goats were penned at night inside, divided per treatment, on deep litter.

Table 5.1 Chemical composition and nutritive value of supplements used.

Variable	Concentrate	Maize	Lucerne
Chemical composition (g/kg DM)			
DM (g/kg)	905	927	918
OM	927	968	884
CP	202	73	183
NDF	319	388	434
ADF	152	190	300
ADL	26	22	77
Nutritive value			
PDIN (g/kg DM)[1]	132	51	120
PDIE (g/kg DM)[2]	119	76	104
UFL (/kg DM)[3]	0.92	0.93	0.70

AT: Access time to pasture; PA: Pasture allowance.
[1,2] Protein truly Digested in the small Intestine when Nitrogen (PDIN) or Energy (PDIE) is limiting for microbial protein synthesis in the rumen (INRA, 2010).
[3] UFL: Unité Fourragère Lait, 1 UFL=7.115 MJ of Net Energy (INRA, 2010).

2.2. Goats

Thirty-six Alpine goats were used, including 33 multiparous and 3 primiparous goats. Their average kidding date was 11 February 2015. Goats were fed with ad libitum grass hay plus concentrate from kidding until the turn-out to pasture, on 16 March 2015. During the 15 days following turnout, the daily access time to pasture was progressively increased from 2 h to 8 h. The forage supplementation was progressively adapted to replace hay by 400 g/goat/d of dehydrated forage.

During the pre-experimental period from 4 April to 15 April, all goats grazed as a single herd on non-experimental pastures during 8 h/d between AM and PM milkings, and were indoors for the rest of the day. They were individually supplemented with 600 g/d of concentrate and 400 g/d of dehydrated forage. Individual goats' characteristics were measured from 4 to 10 April to split them into 3 homogenous groups according to their parity (1 primiparous per group), lactation number (3.1 ± 1.5 lactations), stage of lactation (53 ± 7.2 days in milk), milk production (3.0 ± 0.5 kg/d), milk fat concentration (37.7 ± 3.3 g/ kg), milk protein concentration (30.7 ± 2.4 g/kg), and body weight (47.7 ± 5.1 kg). Difference between groups did not exceed 2% for any of these variables. Each group was then assigned to 1 of the 3 treatments from the first to the last day of the trial.

2.3. Pastures and grazing management

The pasture used was sown in autumn 2011 as a multispecies sward with perennial ryegrass (Lolium perenne L. cv Tryskal, 10 kg/ha), tall fescue (Festuca arundinacea Schreb cv Callina, 10 kg/ha), inoculated lucerne (Medicago sativa L. cv Prunelle, 10 kg/ha), white clover (Trifolium repens L. cv Trissid, 3 kg/ha), and chicory (Cichorium intybus L. cv Puna, 1 kg/ha).

The pasture was divided into 2 experimental plots of 6000 m^2 each, the second having been mowed on 15 April to control sward height during the second part of Trial. Goats successively grazed the first and the second plot. Each plot was divided longitudinally into 3 paddocks using electric fences. The 3 groups of goats grazed adjacent paddocks under strip-grazing management with a front electric fence (moved daily) and back electric fence (moved every 3–4 days). The area allocated daily to each treatment was calculated from a daily estimate of the pre-grazing pasture mass above 4 cm, by multiplying the pre-grazing sward height, measured daily, by the sward bulk density above 4 cm, estimated twice weekly (see below). Goats grazed around 10–11 days in each plot. Water was available in each paddock and indoors, and salt blocks were available indoors only.

In case of heavy rain, goats were kept inside and received an amount of grass hay proportional to the deficit of the planned access time to pasture. Goats never stayed inside all day during either trial, and limited hay distribution was necessary only 3 days during the trial.

2.4. Feed and pasture measurements

Dry matter concentration was determined once weekly for concentrate and dehydrated forages, and all these feeds were sampled for chemical analyses.

Pre-grazing pasture mass, and thus pasture allowance, was measured at 4 cm above ground level twice weekly, by cutting 2 strips of 0.5×5m per treatment with a motor scythe, which means 6 strips for approximately 2000-m2 area. Pre-cut and post-cut sward heights were measured 10 times on each cut strip with a rising platemeter (30×30 cm, 4.5 kg/ m2, Aurea Agrosciences, Blanquefort, France) to calculate the depth of cutting. Sward bulk density (kg DM/ha/cm) was calculated by dividing pasture mass by depth of cutting. Pasture DM concentration was determined on a representative 500-g subsample in each cut strip.

The chemical composition of pasture offered was determined on subsamples collected per treatment on days 8, 13, and 18, composited per treatment after drying, for week 2 (mixing day 8 and day 13 samples) and week 3 (day 18 samples) separately.

Pre- and post-grazing pasture heights were determined daily from 30 random measurements per treatment with a rising platemeter, on the area to be grazed the next day and on the area grazed the day before, respectively.

Pre-grazing extended tiller height and extended sheath height were measured with a ruler on days 8, 13, 18 and 21 on 50 randomly selected ryegrass tillers per treatment. Post-grazing extended tiller height and sheath height were measured on 80 randomly selected ryegrass tillers per treatment, on days 9, 14, 20 and 22. Lamina length was calculated pre- and post-grazing, by the difference between tiller height and sheath height. The post-grazing proportion of lamina-free tillers was calculated as the proportion of tillers whose main lamina was totally defoliated.

The botanical and chemical composition of the pasture apparently selected were determined on days 6, 10, 14 and 20, from randomly selected pasture handfuls (minimum of 500 g per treatment) cut with scissors, imitating in each treatment the post-grazing sward height of the previous day. Samples were collected during the morning, before grazing. A first subsample was manually sorted in 5 classes: grasses, clovers, chicory, dandelion (Taraxacum officinale L., not sown but largely present in pastures), and other species, to determine the proportion of each species on a dry matter basis. The second subsample was oven-dried before chemical analyses and bulked per treatment and per week (week 2 and week 3).

2.5. Animal measurements

Milk production was measured individually at each milking. Milk fat and protein concentrations were determined at each milking over 6 non-consecutive days (days 8, 9, 13, 14, 20 and 21) by mid-infrared spectrophotometry (Milkoscan, Foss Electric, Hillerød, Denmark). Body weight was recorded on day 21 after the AM milking. The post-experimental body weight was also measured on day 24, when all goats had been fed on the same diet for 3 days, to measure the body weight with no digestive content differences between treatments (Agabriel and Giraud, 1988).

Grazing activities were determined with the Kenz Lifecorder Plus Device (LCP, Suzuken Co. Ltd., Nagoya, Japan) positioned in a small waterproof plastic box fixed to a single collar, the box being under the goat's neck. The collar was not tightly attached in order to maximize free movement of the box while the goat was grazing. This device was originally developed for measuring human activities and was recently validated for accurately recording daily grazing times and patterns in dairy cows (Delagarde and Lamberton, 2015). To summarise, the mono-axial acceleration of the goat's head associated to grazing activities is processed as an activity level on a scale of 0–9, and the average of the 30 activity levels recorded at 4-s intervals are saved every 2 min. Prior to the experiment, a validation period on goats was performed by comparing data recorded by the Lifecorder device and visual observations.

Goats were observed during 7 sequences of 2–3 h each, for a total of 17 h of observations, where activities of grazing, ruminating or lying were noted every 1-min period, after synchronising hours of the Lifecorder and of the observer. The activity level was close to zero while goats were ruminating or engaged in activities other than grazing. Grazing activity was thus defined as an activity level greater than 0.5 (scale 0–9), as previously defined for dairy cows (similar range of observed activity level). The relative prediction error as defined by Bibby and Toutenburg (1977) between actual grazing time (observed) and predicted grazing time (Lifecorder Plus)

averaged 0.08 on an hourly scale (n=17), compared to the value of 0.12 observed in cows during 250 h of observations (Delagarde and Lamberton, 2015), showing a good accuracy of the Lifecorder Plus device for recording goat grazing activity.

Grazing activity was recorded from days 15 to day 21, with at least 3 complete recording days per goat. As only 21 devices were available, 7 goats per treatment were first equipped from day 15 to day 17, the other five goats being equipped from day 18 to day 21, along with two goats for which first days of recordings were eventually not satisfying. Grazing meals were defined as periods of at least 6 min of grazing, separated by at least 6 min of inactivity. Grazing time (min/d) was calculated as the sum of all grazing meals, and was also calculated per hour, to describe the daily pattern of grazing activity (min/h). The proportion of time spent grazing was determined by dividing grazing time (min/d) by access time to pasture (min/d). The number of meals per day and the duration of the first meal of the day (min) were also calculated. The mean grazing meal duration (min) was calculated by dividing the grazing time (min/d) by the number of meals per day.

2.6. Chemical analyses

The DM concentration of all feeds was measured by drying in a ventilated oven at 60 °C for 48 h. All oven-dried feed samples were ground through a 0.8mm screen before chemical analyses. The OM concentration was determined by ashing at 550 °C for 5 h in a muffle furnace (Association Française de Normalisation, 1997). Nitrogen concentration was determined by the Dumas method (Association Française de Normalisation, 1997) on a Leco apparatus (Leco, St Joseph, MI). Pepsin-cellulase digestibility was determined according to the method of Aufrère and Michalet-Doreau (1988). The concentrations of Neutral Detergent Fiber (NDF), Acid Detergent Fiber (ADF), and Acid Detergent Lignin (ADL) were measured according to van Soest et al. (1991) on a Fibersac extraction unit (Ankon Technology, Fairport, NY). Nutritive value of pre-grazing and selected pasture were calculated from their chemical composition according to INRA (2010).

2.7. Statistical analyses

Week 1 was excluded from statistical analyses because considered as the adaptation period.

The pasture data, averaged per treatment and per week were analysed according to the principles of the Generalised Linear Model of SAS (1999) as follows:

$$Y_{ij} = \mu + treatment_i + week_j + e_{ij}$$

Where Y_{ij}, μ, $treatment_j$, $week_j$, and e_{ij} represent the analysed variable, the overall mean, the fixed effect of treatment (AT or PA, n=3), the fixed effect of the week (n=2) and the residual error term, respectively.

Animal data from day 8 to day 21 were averaged per goat before statistical analyses. Because of rainy days and hay distribution, behaviour data from day 15 and day 17 and milk data from day 17 were removed before statistical analyses.

The animal data for which a covariate from the pre-experimental period was available (milk production, milk composition, body weight) were analysed according to the Generalised Linear Model of SAS (1999) using the following model:

$$Y_{ij} = \mu + cov_i + treatment_j + e_{ij}$$

Where Y_{ij}, μ, cov_i, $treatment_j$, and e_{ij} represent the analysed variable, the overall mean, the covariate, the fixed effect of treatment (AT or PA), and the residual error term, respectively.

The animal data with no available covariates were analysed according to the following model:

$$Y_{ij} = \mu + treatment_j + e_{ij}$$

All animal data are expressed on a per-goat basis. In the Results section, treatment effect ($P < 0.05$) or tendency ($P < 0.10$) refer to the global F test. Pairwise comparisons between treatments were tested by Student T-test, and differences between adjusted means are presented only if $P < 0.05$.

3. Results

3.1. Weather and pasture growth

The weather conditions were typical of spring conditions for the region. Total rainfall was 77mm and the mean daily temperature was 13.4 °C. During the 2 weeks before grazing, the daily pasture growth in the experimental plots averaged 118 g DM/ha/d.

3.2. Pre-grazing pasture characteristics

As expected, pre-grazing pasture characteristics were, in general, very close between treatments, and pastures were of good quality (**Table 5.2**). Averaged pasture mass (2660 kg DM/ha), rising platemeter pasture height (16.7 cm), pre-grazing extended sheath height (17.2 cm), and pre-grazing extended lamina length (15.6 cm) did not vary between the different levels of AT. Pre-grazing extended tiller height was 2.4 cm lower on AT4 than on AT6 and AT8. Pre-grazing pasture DM concentration (155 g/kg), NDF concentration (466 g/kg DM), and pasture OM digestibility (0.771) were similar between treatments. Unexpectedly, pre-grazing pasture CP concentration differed between the levels of AT, but was never limiting for feeding lactating dairy goats (more than 170 g CP/kg DM; INRA, 2010).

3.3. Grazing management and post-grazing pasture characteristics

Table 5.2 Pre-grazing pasture characteristics for each level of access time to pasture.

Variable	Access time to pasture			SEM	P-value
	AT4	AT6	AT8		
Pasture mass (kg DM/ha)[1]	2662	2864	2457	82.2	0.142
Pre-grazing sward height (cm)					
Rising platemeter	17.1	17.4	15.5	0.38	0.124
Extended tiller	31.2[a]	33.4[b]	33.8[b]	0.31	0.047
Extended sheath	17.6	18.0	16.0	2.44	0.838
Extended lamina[2]	13.6	15.4	17.8	2.13	0.510
Chemical composition (g/kg DM)					
DM (g/kg)	162	145	158	12.5	0.658
OM	886	890	890	2.3	0.482
CP	181[ab]	169[a]	190[b]	2.4	0.048
NDF	462	484	452	17.0	0.512
ADF	239	252	249	3.2	0.172
ADL	31	31	38	1.2	0.095
Nutritive value					
OM digestibility [3]	0.780	0.762	0.770	0.0038	0.142
PDIN (g/kg DM)[4]	116[ab]	108[a]	122[b]	1.6	0.049
PDIE (g/kg DM)[5]	96[a]	94[b]	97[a]	0.3	0.022
UFL (/kg DM)[6]	0.94	0.91	0.93	0.006	0.131

AT: Access Time to pasture; AT4, AT6 and AT8 correspond to 4, 6 and 8 h/d of access time to pasture, respectively.
[1] Measured at 4 cm above ground level.
[2] Difference between extended tiller height and extended sheath height.
[3] Calculated from pepsin-cellulase digestibility (Aufrère and Michalet-Doreau, 1988).
[4,5] Protein truly Digested in the small Intestine when Nitrogen (PDIN) or Energy (PDIE) is limiting for microbial protein synthesis in the rumen (INRA, 2010).
[6] UFL=Unite Fourragère Lait, 1 UFL=7.115 MJ of Net Energy (INRA, 2010).
[a,b] For each variable, mean values with different superscript letters are significantly different (P < 0.05).

As planned, pasture allowance was 2.0 kg DM/d, regardless of AT. Post-grazing rising platemeter height (6.3 cm), extended sheath height (7.8 cm), and extended lamina length (3.8 cm), as well as the proportion of lamina-free tillers (0.15), were unaffected by AT (**Table 5.3**). Post-grazing extended tiller height tended to be lower in AT8 than in AT6 and AT4 (P < 0.08). The protein value (CP, PDIE and PDIN concentrations) of the selected pasture was unaffected by AT. The ADF concentration of the selected pasture was 8 g/kg DM greater on AT8 than on AT4 and AT6 (P < 0.05; **Table 5.3**). The OM digestibility of the selected pasture was highest on AT4 and lowest on AT8 (P < 0.01).

The UFL value of the selected pasture tended to decrease with increasing AT and average 0.96 UFL/kg DM. The nutritive value of the selected pasture was slightly greater than that of the offered pasture (**Tables 5.2 and 5.3**). The botanical composition of the selected pasture was unaffected by AT and averaged, on a DM basis, 0.51 of grass, 0.14 of white clover, 0.15 of chicory, 0.16 of dandelion, and 0.04 of other species.

Table 5.3 Effect of daily access time to pasture on post-grazing pasture characteristics and on quality of the pasture apparently selected by goats.

Variable	Access time to pasture			SEM	P-value
	AT4	AT6	AT8		
Post-grazing sward height (cm)					
Rising platemeter	6.8	6.5	5.5	0.23	0.111
Extended tiller	12.2	11.8	10.4	0.25	0.073
Extended sheath	8.3	8.1	7.0	0.23	0.111
Extended lamina[1]	4.0	3.8	3.5	0.28	0.615
Proportion of lamina-free tillers	0.13	0.15	0.19	0.033	0.500
Chemical composition (g/kg DM)					
DM (g/kg)	149	153	149	4.2	0.808
OM	897	899	901	2.2	0.527
CP	221	205	198	4.9	0.155
NDF	451	462	467	15.0	0.722
ADF	236[a]	240[a]	246[b]	0.8	0.023
ADL	36	33	37	4.7	0.792
Nutritive value					
OM digestibility [2]	0.791[a]	0.783[b]	0.776[c]	0.0005	0.004
PDIN (g/kg DM)[3]	142	132	127	3.04	0.135
PDIE (g/kg DM)[4]	103	101	100	0.6	0.109
UFL (/kg DM)[5]	0.97	0.96	0.95	0.002	0.057

AT: Access time to pasture; AT4, AT6 and AT8 correspond to 4, 6 and 8 h/d of access time to pasture, respectively.
[1] Difference between extended tiller height and extended sheath height.
[2] Calculated from pepsin-cellulase digestibility (Aufrère and Michalet-Doreau, 1988).
[3,4] Protein truly Digested in the small Intestine when Nitrogen (PDIN) or Energy (PDIE) is limiting for microbial protein synthesis in the rumen (INRA, 2010).
[5] UFL: Unité Fourragère Lait, 1 UFL=7.115 MJ of Net Energy (INRA, 2010).
[a,b] For each variable, mean values with different superscript letters are significantly different (P < 0.05).

3.4. Animal performance

There was no refusal of concentrate nor of dehydrated forages. Intake of supplements averaged 556 g DM/d for concentrate and 370 g DM/d for dehydrated forages.

Milk production averaged 3.21 kg/d and was lower on AT4 than on AT6 and AT8 (−0.30 kg/d; **Table 5.4**). Milk fat and milk protein concentrations were unaffected by AT and averaged 35.7 and 29.9 g/kg, respectively. Milk fat production averaged 114 g/d and was greater on AT6 than on AT4 and AT8 (+11 g/d, P < 0.001).

Milk protein production averaged 107 g/d and was lower on AT4 than on AT6 and AT8 (−10 g/d, P < 0.001). The production of 3.5%-fat-corrected milk (FCM) was highest for AT6 and lowest for AT4. Body weight measured on the last day of the experiment averaged 46.3 kg and was lower on AT4 than on AT6 and AT8 (−2.0 kg, P < 0.001).

Post-experimental body weight measured 3 days after the end of experiment on the same diet averaged 49.2 kg and was unaffected by AT.

Table 5.4 Effect of daily access time to pasture on performance and grazing behaviour of strip-grazing dairy goats (Trial 1).

Variable	Access time to pasture			SEM	P-value
	AT4	AT6	AT8		
Milk production (kg/d)	3.02[a]	3.36[b]	3.24[b]	0.053	0.001
Milk fat concentration (g/kg)	36.3	36.2	34.5	0.69	0.131
Milk protein concentration (g/kg)	29.4	30.2	30.1	0.27	0.124
Milk fat production (g/d)	110[a]	121[b]	111[a]	2.48	0.006
Milk protein production (g/d)	89[a]	101[b]	97[b]	1.8	0.001
3.5% FCM production (kg/d)[1]	3.04[a]	3.38[b]	3.18[c]	0.052	0.001
Body weight (kg)[2]	45.0[a]	47.3[b]	46.6[b]	0.38	0.001
Post-experimental body weight (kg)[3]	49.2	49.8	48.7	0.36	0.135
Grazing time (min/d)	238[a]	338[b]	354[c]	4.9	0.001
Proportion of time spent grazing	0.99[a]	0.95[b]	0.75[c]	0.009	0.001
First grazing meal duration (min)	235[a]	281[b]	232[a]	10.5	0.005
Number of grazing meals (meals/d)	1.1[a]	2.2[b]	4.3[c]	0.22	0.001
Mean grazing meal duration (min)	224[a]	170[b]	86[c]	11.95	0.001

AT: Access time to pasture; AT4, AT6 and AT8 correspond to 4, 6 and 8 h/d of access time to pasture, respectively.
[1] 3.5% FCM: 3.5% Fat Corrected Milk.
[2] Measured the last day of the trial (day 21).
[3] Measured 3 days after the end of the experiment when all goats grazed together.
[a,b] For each variable, mean values with different superscript letters are significantly different (P < 0.05).

3.5. Grazing behaviour

Grazing time averaged 310 min/d and increased with increasing AT, with a large difference of 100 min/d between AT4 and AT6 and a small difference of 16 min/d between AT6 and AT8 (P < 0.001, **Table 5.4**).

Consequently, 0.83 of the additional 2 h were spent grazing between AT4 and AT6, while only 0.13 of the additional 2 h were spent grazing between AT6 and AT8. Goats increased their proportion of time spent grazing with decreasing AT, from 0.75 on AT8 to 0.99 on AT4 (P < 0.001). Regardless of the AT, grazing activity was intense, i.e. more than 50 min/h, during the first four hours of access to pasture (**Figure 5.1**). The AT6 goats still grazed actively during the fifth and the sixth hour of access, i.e. 40–50 min/h. The AT8 goats progressively decreased their grazing activity from the fifth (40 min/h) to the eighth (9 min/ h) hour of access.

The first grazing meal duration was 48 min greater on AT6 than on AT4 and AT8 (P < 0.01, **Table 5.4**). The number of grazing meals per day increased from 1.1 on AT4 to 4.3 on AT8 (P < 0.001). The mean grazing meal duration decreased with increasing AT, from 224 min on AT4 to 86 min on AT8 (P < 0.001).

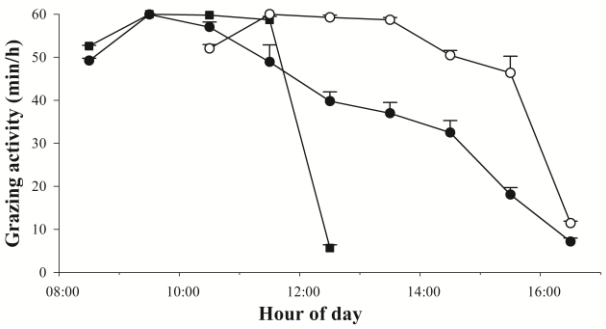

Figure 5.1. Daily pattern of grazing activity of strip grazing dairy goats at three daily access times to pasture (■ 4 h; ○ 6 h; ● 8 h; vertical bars: SE).

4. Discussion

The objective of this study was to quantify the milk response and behavioural adaptation of dairy goats to variations of daily access time to pasture in temperate spring conditions. The observed variations in goats' performance may be directly attributed to variations of daily access time to pasture, because all other management factors were similar between treatments.

Dairy goats showed great behavioural flexibility in response to the large restriction of daily access time to pasture, through a noticeable concentration of their grazing activity. However, this adaptation was not sufficient to maintain milk production in the most restrictive AT.

Indeed, AT4 goats produced 300 g/d less milk than AT6 and AT8 goats, representing a 9% reduction. No similar study has been performed on dairy goats, but the relative variation of goats' milk production following changes in AT is in line with other studies on sheep. Dairy sheep with only 4 h of access time to pasture produced around 10%

less milk than sheep with 6 or 7 h of access time to pasture (Garcia-Rodriguez and Oregui, 2004; Molle et al., 2014). However, many factors such as grazing conditions and supplementation level may modulate the effect of access time to pasture. For example, under difficult grazing conditions (high temperature and low pasture quality), ewes' milk production has been found to be unaffected by access time to pasture between 4 and 7 h (Valenti et al., 2017). Similarly, the pasture intake and milk production of dairy ewes grazing on good quality legume pastures and highly supplemented (1400 g/head/d) were unaffected by restricting access time to pasture from 6 h to 4 h/d (Molle et al., 2017).

The fact that no significant difference in milk production was observed between AT6 and AT8 suggests that goats have a good ability to adapt their behaviour, or that 6 h of access time to pasture are sufficient to achieve the potential or expected pasture intake of goats receiving 1 kg/d of supplements. Similar results have been observed in dairy cows, with a reduction of access time to pasture from 9 to 6 h/d having no effect on intake and milk production (Pérez-Ramírez et al., 2009; Kennedy et al., 2009). The lower 3.5%-FCM production on AT8 than on AT6 was unexpected, and is due to a numerical decrease in both milk production and milk fat concentration, though neither was significant.

Goats had access to pasture 2 h later in AT6 than in AT8 (10:00–16:00 vs. 08:00–16:00). This postponed start to grazing access may have increased the duration of morning fasting and therefore motivation for grazing of the AT6 goats, as well as the DM and soluble carbohydrate concentrations of the selected pasture, compared to the AT8 goats. It is, however, unlikely that delaying access to grazing by only 2 h in the early morning is sufficient to change the chemical composition of the pasture or the daily intake of the goats. In practice, it is not easy to separate the effects of access time per se from the effects of the period of allocation. Even though there is some inconsistency in the literature (see review by Gregorini, 2012), most studies have shown that the period of allocation (morning vs afternoon) has no effect or a lower effect than the duration of access time to pasture on intake, growth or milk production in sheep (Vasta et al., 2012) or dairy cows (Gregorini et al., 2008; Mattiauda et al., 2003).

The restriction of access time to pasture strongly affected the feeding behaviour of the goats, and the drop in milk production on AT4 (−9%) may be directly related to the large drop in daily grazing time (−100 min/d, i.e. −30%), which represents 29 min/d of grazing time lost for each hour of access time to pasture between AT8 and AT4. Similar reductions in grazing time between 8 and 4 h of access time to pasture have been observed in grazing Tanzanian goats (−25 min/d per hour of AT reduction, Romney et al., 1996), and in dairy cows (−33 min/d per hour of AT reduction, Pérez-Ramírez et al., 2008).

The high proportions of time spent grazing (from 0.99 on AT4 to 0.75 on AT8) were close to those already observed in goats with an access time to pasture of 4 h (0.94, Berhan et al., 2005) or with an access time to pasture of 8 h (0.75 and 0.77, Meuret, 1989; Romney et al., 1996). By spending more than 0.90 of access time to pasture grazing, with only 1 or 2 grazing meals/d, goats with restricted access time to pasture clearly show that they have the ability to prioritise intake, and to postpone other activities such as rumination and rest. Moreover, AT8 goats clearly showed a great ability to maintain a long grazing activity from the beginning of the grazing session, with a first grazing meal duration close to 4 h, and a progressive reduction of grazing activity until the evening milking (Fig. 1). On the contrary, dairy cows have shown an inability to graze continuously during 8 h, with a clear interruption of grazing at midday after approximately 3 h of grazing (Pérez-Prieto et al., 2011; Pérez-Ramírez et al., 2009).

It may be hypothesised that AT4 goats, with the lowest milk production and grazing time, also had the lowest herbage intake. This is supported by the reduction of final body weight in AT4, which may be related to the short-term variation of digestive contents due to a reduced intake level (Agabriel and Giraud, 1988). The greater increase in body weight in AT4 goats compared to AT6 or AT8 goats after the end of the trial also suggests a greater feeding restriction during the trial. The average increase in body weight after the end of the trial was high (+3 kg in 3 days) and may be related to the ad libitum grazing conditions in the first days following the trial.

Between AT8 and AT4, access time to pasture was decreased by 50%, grazing time by 33%, and milk production by 7% only. This suggests that pasture intake did not decrease in proportion as much as grazing time, and it could be hypothesised that goats probably increased their pasture intake rate to compensate for grazing time restrictions. No published data is available on dairy goats, but several experiments on meat goats

support this hypothesis. For example, young meat goats decreased their grazing time by 40% but increased their pasture intake rate by 24% when access time to pasture was restricted from 8 to 4 h/d (Berhan et al., 2005). Similarly, in tethered meat goats, the pasture intake rate increased by 31% while grazing time decreased by 32% when access time to pasture was reduced from 8 to 4 h/d (Romney et al., 1996). These behavioural adaptations to restricted access time to pasture may depend on grazing conditions, such as pasture allowance (Pérez-Ramírez et al., 2009) or sward height (Iason et al., 1999), and are not easily predictable. Pasture allowance was relatively limited in this experiment, in order to control residual sward height, and may have reduced the ability of goats to fully express their motivation to eat even at high access time to pasture. The goats' response to access time to pasture with greater daily pasture allowance remains unknown.

5. Conclusion

The milk production of dairy goats rotationally-grazing on multispecies temperate swards in spring is affected by daily access time to pasture. When goats are supplemented with 600 g of concentrate and 400 g of dehydrated forages, 6 h/d of access time to pasture seems sufficient to maximise individual milk production.

Goats showed great behavioural adaptability to a restriction of access time at pasture, by concentrating grazing activity during the available time, up to a proportion of time spent grazing of more than 95%.

Acknowledgements

The authors wish to thank J. Lassalas, P. Lamberton, J.M. Aubry, E. Siroux, F. Briot and all the staff of the Méjusseaume farm (Pegase, INRA-Agrocampus Ouest, 35750 Le Rheu, France) for milking, feeding and care of goats, and for measurements during the experiment and to T. Le Mouel, N. Huchet and S. Giboulot (Pegase, INRA-Agrocampus Ouest, 35590 Saint-Gilles, France) for laboratory chemical analyses.

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors. "In Puzzle" (Rennes, France) post-edited the English style.

II. Essai 2TA : Réponses d'ingestion, de production laitière et adaptation comportementale des chèvres laitières à une restriction du temps d'accès au pâturage et à une complémentation en luzerne déshydratée

Les résultats de cet essai feront l'objet d'une publication :

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. Soumis à Livestock Science en Nov 2018.

Résumé

L'objectif de cet essai a été de quantifier la réponse d'ingestion, de production laitière et l'adaptation comportementale des chèvres à une restriction du temps d'accès journalier (TA) au pâturage, avec ou sans ajout de luzerne déshydratée en complément.

Les trois traitements appliqués étaient : (1) un TA de 11 h/j (TA11 ; 8 h entre les deux traites + 3 h le soir), (2) un TA de 7 h/j entre les deux traites (TA7), et (3) un TA de 7 h/j entre les deux traites, avec apport de 400 g/j de luzerne déshydratée après la traite du soir (TA7D). Dans tous les traitements, la quantité d'herbe offerte a été de 2,3 kg MS/chèvre/j et les chèvres ont reçu 600 g/j d'un concentré commercial distribué en deux fois par jour. L'essai s'est déroulé au printemps (avril-mai) en continu sur une période de 21 j, dont 7 jours d'adaptation et 14 jours de mesures. Les caractéristiques initiales moyennes des trente-six chèvres Alpine, multipares, ont été : 47 ± 6 jours de lactation, 3,7 ± 0,7 kg/j de lait et 53,6 ± 7,1 kg de poids vif. Les mesures réalisées sur les chèvres ont été l'ingestion (utilisation de l'oxyde d'ytterbium pour estimer l'excrétion fécale et de la méthode des index fécaux pour estimer la digestibilité de la ration), la production et la composition du lait, les métabolites sanguins ainsi que la durée d'ingestion journalière et la répartition des activités de pâturage au cours de la journée (Lifecorder Plus). Les caractéristiques de la prairie ont été mesurées (biomasse, surface offerte, hauteur, structure, composition botanique et chimique).

Les caractéristiques de l'herbe offerte ont été dans l'ensemble similaires entre les traitements. La hauteur herbomètre en entrée de parcelle était de 14,2 cm et la biomasse de 2467 kg MS/ha. Après pâturage, la hauteur mesurée à l'herbomètre, la hauteur étirée des gaines et la longueur étirée des limbes n'ont pas été affectées par le TA et ont été en

moyenne de 6,2, 5,3 et 4,5 cm, respectivement. La teneur en NDF (463 g/kg MS), en MAT (215 g/kg MS) et la dMO (0,808) de l'herbe ingérée ont été similaires entre traitements.

La production laitière a été de 3,71 kg/j en moyenne et a été plus faible de 300 g/j sur TA11 et TA7 que sur TA7D. La restriction du temps d'accès n'a donc pas affecté la production laitière. L'ajout de la luzerne déshydratée avec 7 h/j d'accès a entraîné une réponse de 0,82 kg de lait/kg MS de déshydraté. Les taux butyreux et protéique n'ont pas été affectés par les traitements et ont été de 35,1 et 29,9 g/kg, respectivement. Le poids vif a été de 52,1 kg et n'a pas été affecté par les traitements.

La dMO de la ration ingérée a été plus faible sur TA7D que sur TA7 et TA11 (0,791 *vs* 0,823). L'ingestion d'herbe a été en moyenne de 1951 g MS/j et a diminué de 433 g MS/j lorsque le temps d'accès a été réduit. L'ajout de luzerne déshydraté a également entraîné une baisse de l'ingestion d'herbe de 259 g MS/j, soit un taux de substitution entre l'herbe et le déshydraté de 0,72. L'ingestion totale a été de 2700 g MS/j et a été supérieure de 383 g MS/j sur TA11 que sur TA7 et TA7D. La durée d'ingestion a été en moyenne de 433 min/j. Elle a été plus faible de 154 min avec un accès de 7 h/j qu'avec un accès de 11 h/j. Le pourcentage de temps passé à pâturer a été plus élevé sur les temps d'accès de 7 h/j que de 11 h/j (90 vs 80 % du TA). La vitesse d'ingestion moyenne a été de 272 g MS/h d'ingestion et a eu tendance à augmenter lorsque le TA a été réduit (295 *vs* 260 g MS/h). Il semble donc que les chèvres augmentent la vitesse d'ingestion et la proportion du temps passé à pâturer pour compenser la réduction du temps d'accès.

En conclusion, cet essai montre que les chèvres laitières ont une capacité à adapter leur comportement d'ingestion pour compenser la restriction de temps d'accès. Cette adaptation n'a cependant pas été suffisante pour maintenir l'ingestion d'herbe. Malgré la baisse d'ingestion, il semble que 7 h/j d'accès suffise à produire la production laitière attendue, et ce probablement en partie grâce aux 600 g de concentré et à la bonne qualité de l'herbe. Les résultats de cet essai suggèrent également qu'une distribution d'un complément de 400 g de luzerne déshydratée à un effet positif plus important sur la production laitière qu'une augmentation du temps d'accès de 4 h/j le soir après la traite.

Intake, milk production and grazing behaviour responses of strip-grazing dairy goats to daily access time to pasture and to dehydrated lucerne supplementation

A. Charpentier [1,2], H. Caillat[2], F. Gastal[2], R. Delagarde[1]

[1] *PEGASE, INRA Agrocampus Ouest, 16 Le Clos, F-35590 Saint-Gilles, France*
[2] *FERLus, INRA, F-86600 Lusignan, France*
Corresponding author: Remy Delagarde. Email: remy.delagarde@inra.fr

Abstract
The ability of grazing dairy goats to adapt to short daily access time to pasture is not well known, while in practice, access time to pasture (AT) is often lower than 12 h/d. A 3-week trial was carried out in spring with 36 Alpine dairy goats in mid-lactation to study the effect of a restriction of access time to pasture, coupled or not with a supplementation with dehydrated lucerne. Three treatments were compared: (1) 7 h/d of access time to pasture, between milkings, without dehydrated lucerne (namely AT7); (2) 7 h/d of access time to pasture, between milkings, with dehydrated lucerne (namely AT7D); and (3) 11 h/d of access time to pasture, 7 h/d between milkings plus 4 h/d after evening milking, without dehydrated lucerne (namely AT11). The daily pasture allowance was 2.3 kg DM/goat at 4 cm above ground level in all treatments. Each goat received 602 g DM/d of a commercial concentrate, given twice daily at milking. Goats on treatment AT7D also received 371 g DM/d of dehydrated lucerne distributed individually after PM milking. Pasture intake decreased by 433 g DM/d (i.e. 18%) between AT11 and AT7. Pasture intake also decreased by 259 g DM/d between AT7 and AT7D, which means a substitution rate of 0.72 between pasture and dehydrated lucerne. Milk production, as well as milk fat and protein concentrations were not affected by AT. Milk response to dehydrated lucerne was 0.82 kg of milk/kg DM. Grazing time decreased by 2.5 h/d between AT11 and AT7 or AT7D. Intake rate tended to increase between AT11 and AT7 and averaged 272 g DM/h. It is concluded that an access time to pasture of 7 h/d may be sufficient for lactating dairy goats receiving 600 g/d of concentrate and grazing high-quality pastures. Supplying 400 g/d of dehydrated lucerne has a much stronger positive effect on milk production than an additional grazing period of 4 hours after evening milking.

Keywords: dairy goat, time restriction, pasture intake, behaviour, milk production

1. Introduction

Grazing is a good way to improve feed self-sufficiency of dairy goat's farms. To help farmers to optimise their management choices, the impact of grazing management practices on intake, performance and grazing behaviour of dairy goats need to be quantify. In many grazing systems, dairy and suckling cows have an unrestricted daily access time to pasture, being day and night at grazing. Conversely, for small ruminants, and particularly for lactating dairy goats, grazing is only allowed during the daytime, animals being kept indoors at night, either for prevention to theft, predation, diseases, health problems, but also to facilitate farmers' work organisation (Idele, 2011; Tovar-Luna et al., 2011). Nevertheless, if access time to pasture is part of management factors and of farmer's time organisation, it can also be seen as a time constraint potentially limiting pasture intake of the goats, that need time to graze as other ruminants.

Responses of dairy goats to restriction of daily access time lower than 12 h/d are scarce in the literature. It is however probably in this range that access time will mostly impact pasture intake, milk production and behaviour responses, as shown on meat goats (Berhan et al., 2005; Romney et al., 1996) and on dairy goats (Charpentier and Delagarde, 2018; Keli et al., 2017). For lactating dairy goats milked twice daily, the interval between morning and evening milkings is often close to 7-8 h. So increasing access time to pasture up to 10 to 12 h/d implies a new daily pasture allocation, after evening milking but before night. The ability of goats to eat a large amount of pasture and to produce milk, with or without this post-evening milking period, as well as the ability to replace it by an additional supplementation, is unknown.

The aim of this experiment was to study the effect of a restriction of access time to pasture, by suppressing access to pasture after the evening milking, and to test the goats responses to the replacement of this evening

grazing period by an additional supplementation based on dehydrated lucerne.

2. Materials and methods

This experiment was carried out in spring 2016 during 3 consecutive weeks from 1 April to 22 April, at the INRA experimental farm of Méjusseaume (1.71°W, 48.11°N, Le Rheu, Brittany, France). Procedures relating to care and management of animals for this trial were approved by an animal care committee of the French Ministry of Agriculture, in accordance with French regulations (decree-law 2001-464, 29 May 2001).

2.1 Treatments

Three treatments were compared, differing by the daily access time to pasture and by supplementation level: (1) 7 h/d of access time to pasture without dehydrated lucerne (namely AT7); (2) 7 h/d of access time to pasture with dehydrated lucerne (namely AT7D); and (3) 11 h/d of access time to pasture without dehydrated lucerne (namely AT11). Goats had access to the pasture from 09:00 to 16:00 in AT7 and AT7D, and from 08:00 to 16:00 and from 17:30 to 20:30 in AT11. Goats of the AT11's treatment accessed to the pasture one hour earlier in the morning to be back inside before the sunset.

The first week of the experiment was an adaptation week, and the second and third weeks were for measurements. For each treatment, the daily pasture allowance was 2.4 kg DM/goat at 4 cm above ground level. Each goat received 301 g DM of a commercial concentrate (**Table 5.5**) through an automatic feeder in the milking parlour twice daily (i.e. 602 g DM/d). The concentrate consisted of the following ingredients on a dry matter basis: barley, 28%; sugar beet pulp, 24%; soyabean meal, 23%; lucerne, 11.5%; wheat bran, 6%; molasses, 3%; linseed, 2%; vegetable oils, 1%; sodium chloride, 0.5%. Goats on treatment AT7D also received 371 g DM/d of dehydrated lucerne distributed individually after PM milking (**Table 5.5**). Goats were milked twice daily at 07:00 and 16:15. Goats were penned inside and per treatment on deep litter at night. Water was available at pasture and indoors and salt block was available only indoors.

2.2 Goats

Thirty-six multiparous Alpine goats were selected for the experiment. Their average kidding date was 10 February 2016. Goats were fed *ad libitum* with grass hay plus concentrate from kidding until the turn-out to pasture, on 7 March 2016. After a transition period from hay to pasture, all goats grazed together as one single herd with 602 g DM/d of concentrate, 371 g DM/d of dehydrated lucerne and 7 h/d of access to pasture from 20 March to 30 March. Three homogeneous groups of 12 goats were balanced according to their individual characteristics measured from 21 March to 27 March: lactation number (3.9 ± 1.6 lactations), stage of lactation (47 ± 5.6 days in milk), milk production (3.7 ± 0.6 kg/d), milk fat concentration (38.5 ± 3.9 g/kg), milk protein concentration (31.0 ± 2.7 g/kg), and body weight (53.6 ± 7.1 kg). Difference between groups did not exceed 2% for any of these variables, except for lactation number (6%). Each group was then affected to one of the three treatments for all the experiment.

Table 5.5 Chemical composition and nutritive value of supplements

Supplement	Concentrate	Dehydrated lucerne	Yb-concentrate
Chemical composition (g/kg DM)			
DM (g/kg of fresh)	906	929	901
OM	937	903	954
CP	210	177	188
NDF	379	490	238
ADF	156	322	67
ADL	20	72	16
Nutritive value			
PDIN (g/kg DM)[1]	150	120	135
PDIE (g/kg DM)[1]	135	104	117
UFL (/kg DM)[2]	1.05	0.70	1.05

[1] Metabolisable Protein when Nitrogen (PDIN) or Energy (PDIE) is limiting for microbial protein synthesis in the rumen (INRA, 2010)
[2] UFL: Unité Fourragère Lait, 1 UFL = 7.115 MJ of Net Energy (INRA, 2010)

2.3 Pastures and grazing management

Pasture used was sown in autumn 2011 with a mixture of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L. cv Tryskal, 10 kg/ha), tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb cv Callina, 10 kg/ha), white clover (*Trifolium repens* L. cv Trissid, 3 kg/ha), chicory (*Cichorium intybus* L. cv Puna, 1 kg/ha) and inoculated lucerne (*Medicago sativa* L. cv Prunelle, 10 kg/ha).

The 2-ha pasture was divided into 3 paddocks, 2 of 6000 m² and 1 of 8000 m². The biggest one was grazed during the pre-experimental period. During the experiment, the 2 paddocks of 6000 m² were divided into three sub-paddocks by electric fences for around 10 d of grazing in each paddock. The three groups of goats grazed adjacent sub-paddocks, working in a strip-grazing system with front fence moved daily and back fence moved twice weekly. The area allocated daily to each treatment was calculated from a daily estimate of pre-grazing pasture mass by multiplying daily pre-grazing sward height by

sward bulk density (see *2.4. Feed and pasture measurements*).

2.4 Feed and pasture measurements

Dry matter concentration of commercial concentrate, of Yb-concentrate (see chapter 2.5.2) and of dehydrated lucerne were determined daily from day 14 to day 15 and from day 18 to day 21 on a 100-g subsample.

On days -2, 4, 8, 13 and 18, pasture was sampled on 2 strips of 0.5 × 5 m per treatment with a motor-scythe, at a cutting height of 4 cm above ground level. Pasture harvested in each strip was weighed and pasture DM concentration was determined on a representative 500-g subsample, to calculate pasture harvested on a DM basis(kg DM/ha). Pre-cut and post-cut sward heights were measured 10 times on each cut strip with a rising platemeter (30 × 30 cm, 4.5 kg/m², Aurea Agrosciences, Blanquefort, France) to calculate the depth of cutting (cm). The sward bulk density (kg DM/ha/cm) was calculated on each strip by dividing the pasture harvested (kg DM/ha) by the depth of cutting (cm), and then averaged per date.

The chemical composition of pasture offered was determined on an another 500-g subsamples collected on day 13 and day 18 in each cut strip, washed for eliminating soil residuals, dried, and bulked per treatment and per week before analyses.

The botanical composition of offered pasture was determined on day 14, from pasture handfuls (minimum 1 kg per treatment) cut with scissors, randomly selected in the pasture to be grazed in the next seven days. Samples were manually sorted into 5 classes: grass, clover, chicory, dandelion, lucerne and other species, then dried and weighed to calculate the proportion of each class on a dry matter basis.

From day 14 to day 15 and from day 18 to day 20, every morning before grazing, pasture apparently selected by goats was sampled (minimum 500 g per treatment) imitating the post-grazing sward height of the previous day, by cutting pasture handfuls with scissors. Samples were oven-dried and bulked per treatment and per week before chemical analyses.

Pre- and post-grazing pasture heights were determined daily from 30 random measurements per treatment with an electronic platemeter, on the strip to be grazed the next day and on the strip just grazed, respectively. Pre-grazing extended tiller height and extended sheath height were measured with a ruler on days 14, 18 and 20 on 50 randomly selected ryegrass tillers per treatment. Post-grazing extended tiller height and extended sheath height were measured on 100 randomly selected ryegrass tillers per treatment, on days 15, 19 and 21. Pre- and post-grazing lamina lengths were calculated by the difference between tiller height and sheath height. The post-grazing proportion of lamina-free tillers was calculated as the proportion of tillers whose main lamina was totally defoliated.

2.5. Animal measurements

2.5.1. Milk production and body weight

Milk production was measured individually at each milking. Milk fat and protein concentrations were determined at each milking from day 11 to day 13 and from day 18 to day 20 by mid infra-red spectrophotometry (Milkoscan, Foss Electric, Hillerød, Denmark). Body weight was recorded on day 22 after AM milking.

2.5.2. Intake and energy balance

Individual pasture DM intake (PI) was determined during the last 5 days of the experiment from daily faecal output and diet OM digestibility according to the indirect two-step calculations of the ytterbium oxide (Yb)/faecal index method (Pérez-Ramírez et al., 2012; Delagarde et al., 2018a). Daily faecal output was estimated from the dilution of Yb incorporated in a pelleted Yb-concentrate.

The pelleted Yb-concentrate consisted of the following ingredients on a fresh matter basis: wheat, 35%; wheat bran, 29.5%; soyabean meal, 16%; maize, 15%; molasses, 4%; ytterbium oxide, 0.5%. During all the experiment, each goat received 15.0 g (± 0.1 g) of the Yb-concentrate after each milking (i.e. 0.13 g/d of ytterbium oxide). The last 7 days, the straw litter was covered by woody chips to prevent straw intake by goats. Faeces were rectal-sampled from PM milking on day 17 to AM milking on day 22, after each milking. Faeces were then stored at +4°C and bulked per goat before oven-drying and chemical analyses. Then, PI was calculated according to Equation 1 (Pérez-Ramírez et al., 2012) :

$$PI = \frac{1}{OM_P} \times \left(\frac{\frac{D_{yb}}{F_{yb}}}{(1\text{-}OMD_D)} - OMI_S \right) \qquad \text{(Eq. 1)}$$

where PI represents the daily pasture intake (kg DM/d); OM_P represents the selected pasture OM concentration (g/kg DM); D_{yb} represents the daily dose of Yb (mg Yb/day); F_{yb} represents the faecal Yb concentration (mg/ kg OM); OMI_S represents the OM intake from all

supplements (kg OM/d) and OMD_D represents OM digestibility of the diet, calculated from Equation 2:

$$OMD_D = 0.922 - \frac{0.0194 + \Delta}{F_{CP}} - 0.445 \times F_{ADF}^2 \quad \text{(Eq. 2)}$$

(n= 41, R^2 = 0.82, RSD = 0.017)

Where OMD_D represents the diet OM digestibility, F_{CP} represents the faecal CP concentration (g/g OM), F_{ADF} represents the faecal ADF concentration (g/g OM), and Δ represents a corrective factor related to dehydrated lucerne (Δ = + 0.00192 for diets containing dehydrated lucerne and Δ = - 0.00192 for diets without dehydrated lucerne). This equation was built by multiple regression analysis thanks to a series of 5 indoors experiments between autumn 2015 and spring 2017 (Charpentier et al., 2017; Delagarde *et al.*, unpublished). In these experiments, goats were fed under a large range of diet quality, diet composition and intake level which mimic what could happen under grazing conditions. Intake of each feed and faecal output by total collection were precisely measured during 5 consecutive days at the end of each experimental period.

Individual net energy (in UFL, Unité Fourragère Lait, 1 UFL = 7.12 MJ of NE) and metabolisable protein (PDI) balances were calculated according to INRA (2010) and expressed as the proportion of requirements covered by supply. The UFL and PDI requirements for maintenance and milk production were calculated from body weight (BW) and 3.5% Fat Corrected Milk (FCM) production. The UFL and PDI supplies were calculated from intake of pasture and supplements and from their respective concentrations in UFL and PDI. Nutritive values (UFL and PDI) of pre-grazing and selected pasture were calculated from their chemical composition according to INRA (2010). The digestive interactions between pasture and concentrates were considered in the calculations (INRA, 2010).

2.5.3. Blood metabolites

Blood glucose, urea and NEFA (Non-Esterified Fatty Acids) concentrations were measured on day 22 morning, after the weighing. A blood sample was collected per goat by jugular venipuncture into evacuated collection tubes containing Lithium heparin. After centrifugation (2 000 × g at 4°C for 15 min), the plasma was stored at -20°C.

2.5.4. Grazing behaviour

Grazing activities were determined with the Kenz Lifecorder Plus Device (LCP, Suzuken Co. Ltd., Nagoya, Japan) placed in a waterproof box under the goat's neck. This device records grazing time with a good accuracy on dairy cows (Delagarde and Lamberton, 2015) and dairy goats (Delagarde et al., 2018b). Grazing time was recorded from day 15 to day 21, with at least 3 or 4 recording days per goat. As only 21 devices were available, 7 goats per treatment were first equipped from day 15 to day 17, the other five goats being equipped from day 18 to day 21, along with two goats for which first days of recordings were eventually not satisfying. Grazing meal and grazing time were defined as in Charpentier and Delagarde (2018). Pasture intake rate (g DM/h) was calculated per goat by dividing average PI by average grazing time.

2.6. Chemical analyses

The DM concentration of all feeds was measured by drying in a ventilated oven at 60 °C for 48 h for pasture and supplements, and for 72 h for faeces. All oven-dried feed and faecal samples were ground through a 0.8 mm screen before chemical analyses. The OM concentration was determined by ashing at 550 °C for 5 h in a muffle furnace (Association Française de Normalisation, 1997). Nitrogen concentration was determined by the Dumas method (Association Française de Normalisation, 1997) on a Leco apparatus (Leco, St Joseph, MI). The concentrations of Neutral Detergent Fiber (NDF), Acid Detergent Fiber (ADF), and Acid Detergent Lignin (ADL) were measured according to van Soest et al. (1991) on a Fibersac extraction unit (Ankon Technology, Fairport, NY). Pepsin-cellulase digestibility was determined according to Aufrère and Michalet-Doreau (1988). Ytterbium oxide was determined by atomic absorption spectrophotometry with a nitrous oxide/acetylene flame after calcination and digestion in nitric acid, according to Siddons et al. (1985). Blood metabolites concentrations were assessed using a multi-parameter analyser (KONE Instruments 200 Corporation, Espoo, Finland).

2.7. Statistical analyses

Data from day 1 to day 7 (first week) were excluded from statistical analyses because considered as the adaptation period. The pasture data, averaged per treatment and per week, were analysed according to the principles of the Generalised Linear Model of SAS Institute (2008) as follows:

$$Y_{ij} = \mu + Treatment_i + Week_j + e_{ij}$$

Where Y_{ij}, μ, $Treatment_i$, $Week_j$, and e_{ij} represent the analysed variable, the overall mean, the fixed effect of

the treatment (n=3), the fixed effect of the week (n=2) and the residual error term, respectively.

Animal data from day 8 to day 21 were averaged per goat before statistical analyses.

The animal data for which a covariate from the reference period was available (milk production, milk composition, and body weight) were analysed according to the Generalised Linear Model of SAS (2008):

$$Y_{ij} = \mu + cov_i + Treatment_j + e_{ij}$$

Where Y_{ij}, μ, cov_i, $Treatment_j$, and e_{ij} represent the analysed variable, the overall mean, the covariate, the fixed effect the treatment, and the residual error term, respectively.

The animal data with no available covariates were analysed according to the following model:

$$Y_i = \mu + Treatment_i + e_i$$

Where Y_i, μ, $Treatment_i$, and e_i represent the analysed variable, the overall mean, the fixed effect the treatment, and the residual error term, respectively.

In the Results section, treatment effect ($P < 0.05$) or tendency ($P < 0.10$) refer to the global F test. Pairwise comparisons between treatments were tested by Student T-test, and differences between adjusted means are presented only if $P < 0.05$.

3. Results

3.1. Weather

The weather conditions were typical of spring conditions for the region. Mean temperature and total rainfall in April 2016 were 9°C and 51 mm, respectively. This figure was colder than the 2011-2015 April average period (11°C and 55 mm).

3.2. Pre-grazing pasture characteristics

As expected, pre-grazing pasture characteristics were not different between treatments (**Table 5.6**). Pasture botanical composition was on average 50% of grass (ryegrass and fescue), 29% of dandelion (naturally present), 11% of chicory, 8% of clover, 1% of lucerne and 1% of other species, on a DM basis. Pasture mass averaged 2467 kg DM/ha. Pre-grazing rising platemeter, extended tiller height, extended sheath height and extended lamina length averaged 14.2, 26.3, 7.3 and 19.0 cm, respectively. Average pre-grazing pasture OM digestibility (0.776), CP concentration (196 g/kg DM) and NDF concentration (463 g/kg DM) are indicative of good quality pastures.

Table 5.6 Pre-grazing pasture characteristics: pasture mass, sward height, chemical composition and nutritive value of offered pasture.

Variables	Treatment			SEM	P-value
	AT7	AT7D	AT11		
Pasture mass (kg DM/ha)[1]	2415	2472	2513	70.0	0.670
Pre-grazing sward height (cm)					
Rising platemeter	14.0	14.2	14.4	0.29	0.659
Extended tiller	26.5	26.0	26.5	0.90	0.915
Extended sheath	7.4	7.7	6.8	0.16	0.096
Extended lamina[2]	19.1	18.3	19.7	0.87	0.594
Chemical composition (g/kg DM)					
DM (g/ kg of fresh)	148	155	149	4.2	0.560
OM	907	909	905	2.8	0.605
CP	200	178	200	5.1	0.149
NDF	472	461	456	10.2	0.599
ADF	231	228	227	3.6	0.778
ADL	27	30	28	1.4	0.611
Nutritive value					
OM digestibility (g/g)[3]	0.773	0.771	0.783	0.0087	0.639
PDIN (g/kg DM)[4]	128	114	129	3.6	0.157
PDIE (g/kg DM)[4]	100	97	100	1.5	0.375
UFL (/kg DM)[5]	0.96	0.95	0.97	0.012	0.737

Access time to pasture (AT) : 7 h/d without dehydrated lucerne (AT7); 7 h/d with dehydrated lucerne (AT7D); and 11 h/d without dehydrated lucerne (AT11). SEM = Standard Error of the Mean.

[1] Measured at 4 cm above ground level

[2] Difference between extended tiller height and extended sheath height.

[3] Calculated from pepsin-cellulase digestibility (Aufrère and Michalet-Doreau, 1988)

[4] Metabolisable Protein when Nitrogen (PDIN) or Energy (PDIE) is limiting for microbial synthesis in the rumen (INRA, 2010)

[5] UFL = Unité Fourragère Lait (1 UFL = 7.115 MJ of Net Energy; INRA, 2010).

[a,b] For each variable, mean values with different superscript letters are significantly different ($P < 0.05$)

3.3. Grazing management and post-grazing pasture characteristics

Pasture allowance averaged 2.3 kg DM/d, regardless of treatments. Post-grazing rising platemeter height (6.2 cm), extended sheath height (5.3 cm) and extended lamina length (4.5 cm) were unaffected by treatments (**Table 5.7**). Post-grazing extended tiller height was highest in AT7D and lowest in AT11 ($P < 0.05$). Thereby, percentage of lamina-free tillers was highest in AT11 and lowest in AT7D ($P < 0.05$). The quality of the apparently selected pasture was in general unaffected by treatments and was numerically greater than that of offered pasture by 0.032 for OM digestibility and by 22 g/kg DM for CP concentration.

The ADF concentration of apparently selected pasture was greater by 11 g/kg DM on AT11 than on AT7 and AT7D ($P<0.01$). The ADL concentration of apparently selected pasture averaged 30 g/kg DM and was lowest on AT11, greatest on AT7D and intermediate on AT7 ($P <0.05$).

Table 5.7 Effect of daily access time to pasture and of dehydrated lucerne supplementation on post-grazing pasture characteristics and on quality of the pasture apparently selected by goats.

Variables	Treatment			SEM	P-value
	AT7	AT7D	AT11		
Post-grazing sward height (cm)					
Rising platemeter	6.0	6.7	6.0	0.20	0.201
Extended tiller	9.7[ab]	10.4[b]	9.3[a]	0.11	0.037
Extended sheath	5.3	5.2	5.3	0.16	0.834
Extended lamina[1]	4.4	5.2	4.0	0.28	0.165
Lamina-free tillers (%)	19[ab]	16[a]	24[b]	0.9	0.049
Chemical composition (g/kg DM)					
DM (g/ kg of fresh)	140	135	146	3.1	0.229
OM	906	899	900	1.3	0.095
CP	210	216	218	3.3	0.398
NDF	461	446	482	19.2	0.528
ADF	213[a]	215[a]	225[b]	0.4	0.003
ADL	30[b]	34[c]	25[a]	0.6	0.013
Nutritive value					
OM digestibility (g/g)[2]	0.803	0.820	0.802	0.0127	0.589
PDIN (g/kg DM)[3]	135	140	140	2.3	0.442
PDIE (g/kg DM)[3]	104	105	104	0.4	0.151
UFL (/kg DM)[4]	1.00	1.02	0.99	0.022	0.607

Access time to pasture (AT):7 h/d without dehydrated lucerne (AT7); 7 h/d with dehydrated lucerne (AT7D); and 11 h/d without dehydrated lucerne (AT11). SEM = Standard Error of the Mean.
[1] Difference between extended tiller height and extended sheath height.
[2] Calculated from pepsin-cellulase digestibility (Aufrère and Michalet-Doreau, 1988)
[3] Metabolisable Protein when Nitrogen (PDIN) or Energy (PDIE) is limiting for microbial synthesis in the rumen (INRA, 2010)
[4] UFL = Unité Fourragère Lait (1 UFL = 7.115 MJ of Net Energy; INRA, 2010).
[a,b] For each variable, mean values with different superscript letters are significantly different (P < 0.05)

Table 5.8 Effect of daily access time to pasture and of dehydrated lucerne supplementation on milk production, milk composition and body weight of strip-grazing dairy goats.

Variables	Treatment			SEM	P-value
	AT7	AT7D	AT11		
Milk production (kg/d)	3.56[a]	3.92[b]	3.68[a]	0.060	0.001
Milk fat concentration (g/kg)	35.8	35.2	34.2	0.63	0.221
Milk protein concentration (g/kg)	29.7	29.6	30.1	0.26	0.409
3.5% FCM production (kg/d)	3.55[a]	3.86[b]	3.61[a]	0.064	0.005
Milk fat production (g/d)	127[a]	137[b]	125[a]	2.8	0.010
Milk protein production (g/d)	105[a]	115[b]	110[ab]	2.1	0.008
Body weight (kg)	51.6	52.0	52.6	0.32	0.102

Access time to pasture (AT): 7 h/d without dehydrated lucerne (AT7); 7 h/d with dehydrated lucerne (AT7D); and 11 h/d without dehydrated lucerne (AT11). SEM = Standard Error of the Mean.
[a,b] For each variable, mean values with different superscript letters are significantly different (P < 0.05)

3.4. Milk production, milk composition and body weight

Milk production and 3.5% FCM production averaged 3.71 kg/d and 3.67 kg/d and were respectively lower by 0.30 kg/d and 0.28 kg/d on AT7 and AT11 than on AT7D (P<0.001; **Table 5.8**). Without dehydrated lucerne supplementation, the restriction of access time from 11 to 7 h/d did not affect milk, fat or protein productions. The milk response to dehydrated lucerne supplementation, at similar access time to pasture, was 0.82 kg of milk/kg DM of dehydrated lucerne. Milk fat and milk protein concentrations were unaffected by treatments and averaged 35.1 and 29.9 g/kg of milk, respectively. Milk fat production was greater by 11 g/d on AT7D than on AT7 and AT11 (P<0.01). Milk protein production averaged 110 g/d and was greater on AT7D than on AT7 (P<0.01). Body weight averaged 52.1 kg and was unaffected by treatments.

3.5. Faecal output, diet OM digestibility, intake and energy balance

Faecal output averaged 461 g OM/d and was lower by 78 g OM/d on AT7 than on AT7D and AT11 (P<0.001; **Table 5.9**). Diet OM digestibility was lower on AT7D than on AT7 and AT11 (0.791 *vs* 0.823; P<0.001). There was no concentrate or dehydrated lucerne refusal throughout the experiment. The total supplements intake was of 602 g DM/d for concentrate, 27 g DM/d for Yb-concentrate and 361 g DM/d for dehydrated lucerne. Pasture intake averaged 1951 g DM/d, and decreased by 433 g DM/d when access time was reduced from 11 to 7 h/d (P<0.01).

Table 5.9 Effect of daily access time to pasture and of dehydrated lucerne supplementation on intake and blood metabolites of strip-grazing dairy goats.

Variables	Treatment			SEM	P-value
	AT7	AT7D	AT11		
Feed intake					
Faecal OM output (g OM/d)	409[a]	498[b]	475[b]	13.7	0.001
Diet OM digestibility (g/g)[1]	0.823[b]	0.791[a]	0.823[b]	0.0017	0.001
Pasture intake (g DM/d)	1893[b]	1634[a]	2326[c]	82.1	0.001
Total intake (g DM/d)[2]	2521[a]	2623[a]	2955[b]	82.4	0.003
UFL supply (% of requirements)[3]	108[a]	105[a]	126[b]	2.7	0.001
PDI supply (% of requirements)[4]	133[a]	125[a]	155[b]	3.5	0.001
Blood metabolites					
Urea (mg/dl)	53.2[a]	59.4[b]	56.7[ab]	1.59	0.034
Glucose (mg/dl)	60.4	61.6	61.2	1.38	0.824
NEFA (µmol/l)	358	497	387	49.3	0.139

Access time to pasture (AT): 7 h/d without dehydrated lucerne (AT7); 7 h/d with dehydrated lucerne (AT7D); and 11 h/d without dehydrated lucerne (AT11). SEM = Standard Error of the Mean.
[1] From faecal indicators
[2] Total intake = Pasture + concentrate + Yb-concentrate + dehydrated lucerne intake
[3] UFL = Unité Fourragère Lait (1 UFL = 7.115 MJ of Net Energy; INRA, 2010)
[4] PDI = Metabolisable Protein (INRA, 2010)
[a,b] For each variable, mean values with different superscript letters are significantly different (P < 0.05)

Pasture intake decreased by 259 g DM/d when dehydrated lucerne was supplied (P<0.01), which means

an average substitution rate of 0.72 between pasture and dehydrated lucerne. Total intake averaged 2700 g DM/d and was greater by 383 g DM/d on AT11 than on AT7 and AT7D (P<0.01). Energy (UFL) and protein (PDI) supplies covered more than 100% of the requirements in all treatments and were greater by 19 and 26% on AT11 than on AT7 and AT7D, respectively.

3.6. Blood metabolites

Uremia averaged 56.4 mg/dl and was lower on AT7 than on AT7D (53.2 *vs* 59.4 mg/dl; P<0.05; **Table 5.9**). Glycemia and blood NEFA concentration were unaffected by treatments and averaged 61.1 mg/dl and 414 µmol/l, respectively.

3.7 Grazing behaviour

Grazing time and number of grazing meals averaged 433 min/d and 4.6 meals/d respectively, and were greater on AT11 than on AT7 and AT7D by 154 min and 3.0 meals, respectively (**Table 5.10**). Proportion of time spent grazing averaged 0.87 and was lower on AT11 than on AT7 and AT7D (0.81 vs 0.90; P<0.001). Mean grazing meal duration averaged 109 min, and was lower on AT11 than on AT7D (84 vs 129 min; P<0.05). First grazing meal duration averaged 247 min and was unaffected by treatments. Pasture intake rate tended to be greater on AT7 than on AT7D and AT11 (295 vs 260 g MS/h; P=0.08).

Daily pattern of grazing activity was similar between AT7 and AT7D, with an intense grazing activity (more than 50 min/h) during the first 6 hours of access to the pasture (**Figure 5.2).** Goats on these treatments still grazed actively, i.e. around 40 min/h the seventh hour of access. On AT11, grazing activity decreased progressively from the second hour (60 min/h) to the seventh hour (38 min/h) of access between the two milkings. After PM milking, the grazing activity was intense (more than 50 min/h) during at least 2 hours (**Figure 5.2**).

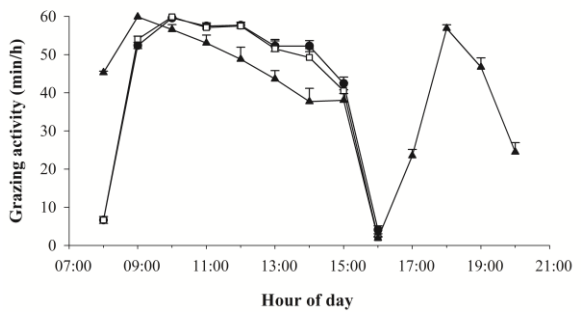

Figure 5.2 Daily pattern of grazing activity of strip-grazing dairy goats according to access time to pasture and dehydrated lucerne supplementation (● AT7, □ AT7D, ▲ AT11, positive SE bars)

Table 5.10 Effect of daily access time to pasture and of dehydrated lucerne supplementation on grazing behaviour of strip-grazing dairy goats.

Variables	Treatment			SEM	P-value
	AT7	AT7D	AT11		
Grazing time (min/d)	385[a]	379[a]	536[b]	7.8	0.001
Proportion of time spent grazing	0.90[b]	0.90[b]	0.81[a]	0.014	0.001
Number of grazing meals (meals/d)	3.7[a]	3.4[a]	6.6[b]	0.31	0.001
Mean grazing meal duration (min)	113[ab]	129[b]	84[a]	11.5	0.029
First grazing meal duration (min)	241	257	243	13.7	0.667
Pasture intake rate (g DM/h)	295	260	261	12.2	0.075

Access time to pasture (AT): 7 h/d without dehydrated lucerne (AT7); 7 h/d with dehydrated lucerne (AT7D); and 11 h/d without dehydrated lucerne (AT11). SEM = Standard Error of the Mean.

[a,b] For each variable, mean values with different superscript letters are significantly different (P < 0.05)

4. Discussion

The objective of this study was to quantify the pasture intake and milk production responses, as well as the behavioural adaptation, of Alpine dairy goats to daily access time to pasture, and to supplementation with dehydrated lucerne, under strip-grazing management. The experiment was carried out under temperate weather conditions, on high quality multi-species pastures as shown by botanical and chemical composition of the pasture offered and selected in all treatments.

Total DM intake in our study (5.2% of BW or 139 g/kg $BW^{0.75}$) was greater than values reported in the literature for grazing dried meat goats (4.0% of BW or 92 g/kg $BW^{0.75}$; Romney et al., 1996), suckling meat goats (120 g DM/kg $BW^{0.75}$; Tovar-Luna et al., 2011), but also for Alpine dairy goats supplemented with 1 kg DM/d of concentrates (3.0% of BW or 82 g/kg $BW^{0.75}$; Keli et al., 2017). Compared to unsupplemented meat goats studies (Romney et al., 1996; Tovar-Luna et al., 2011), the greater intake in our study may be clearly related to the supply of concentrate that increases total intake thanks to the substitution rate, but also to greater milk production that increases intake capacity (INRA, 2010). The observed average intake level is close to the voluntary intake level predicted from pre-experimental BW and milk production, and from supplementation level and pasture fill value or ingestibility (4.8% of BW or 130 g/kg $BW^{0.75}$, INRA, 2010).

Goat responses to access time to pasture

The effect of AT on pasture intake

Studies on the effect of daily access time to pasture on intake or performance are scarce and most of the time carried out on meat goats, with young castrated males (Berhan et al., 2005), dried meat goats (Romney et al., 1996), or suckling goats (Tovar-Luna et al., 2011). Two

recent studies were carried out on Alpine dairy goats in early lactation (Keli et al., 2017) or mid-lactation (Charpentier and Delagarde, 2018). Our results will also be compared to responses to daily access time of sheep or cows.

The decrease in pasture intake when access time was restricted from 11 to 7 h/d was important (-433 g DM/d, i.e. 18% or 108 g DM/d per hour of reduction of access time). Reduction of pasture intake with restriction of access time has been already observed in grazing goats, but generally to a lesser extent. Tovar Luna et al. (2011) reported a decrease in pasture intake of 36 g DM/d per hour of AT less when AT decresaed from 24 h to 12 h/d. Similar range of variation of pasture intake (-34 g DM/d per h of AT less) was observed for a reduction of AT from 8 h to 4 h/d on growing meat goats or dried goats (Berhan et al., 2005; Romney et al., 1996). At the contrary, Keli et al. (2017) reported no effect of AT on pasture intake, either between 22 h and 8 h/d or between 8 h and 6 h/d), probably due to a high supplementation level and a low pasture intake. Lower pasture intake with restricted AT has also been observed on sheep (Iason et al., 1999; Molle et al., 2014) and dairy cows (Kennedy et al., 2009 ; Pérez-Ramírez et al., 2008).

The effect of AT on grazing behaviour

Daily grazing time was greatly impacted by AT restriction, with a 18% reduction (-2.5 h/d) between 11 and 7 h/d of AT. Grazing times recorded are close to those observed on grazing dairy goats with 8 h/d of AT (Charpentier and Delagarde, 2018; Keli et al., 2017) or with 13 h/d of AT (Charpentier and Delagarde, 2018). It's also in the range of grazing time observed on meat goats with 8 h of AT (319 to 381 min/d; Berhan et al., 2005 ; Romney et al., 1996) or with an AT of at least 12 h/d (434 to 624 min/d; Berhan et al., 2005; Keli et al., 2017; Tovar-Luna et al., 2011). The reduction of grazing time with decreasing AT is high (-39 min/d per h of AT less), and close to the reduction observed between 8 and 6 h/d or between 8 and 4 h/d of AT in dairy goat studies (31 min/d per h of AT less on average; Berhan et al., 2005; Charpentier and Delagarde, 2018; Keli et al., 2017; Romney et al., 1996).

The average pasture intake rate observed (272 g DM/h) is within the highest values of the range reported for grazing adult's goats (105 to 276 g DM/h; ; Askar et al., 2013; Keli et al., 2017; Romney et al., 1996; Tovar-Luna et al., 2011). This should be related to the high milk production level (> 3.5 kg/d) that can stimulate intake and motivation to eat fast (INRA, 2010), but also to the high quality of the pasture and of the high pre-grazing height that allows to maximise intake rate (Edwards et al., 1995). The tendency to the increase in pasture intake rate when AT was reduced is consistent with previous studies on dairy goats (Keli et al., 2017), meat goats (Berhan et al., 2005 ; Romney et al., 1996), sheep (Molle et al., 2017) and dairy cows (Pérez-Ramírez et al., 2008), and shows the ability of ruminants to eat faster the same feed under greater time constraint (Ginane and Petit, 2005). In our experiment, the relative increase in pasture intake rate between 11 to 7 h/d of access time is about 13%, which is lower than the values reported by the above-cited studies (20-40%), suggesting than the time constraint to graze was not so strong.

Goats also showed a great ability to postpone activities other than grazing (i.e. rumination and rest), to prioritise intake, with more than 90% of available time spent grazing (Charpentier and Delagarde, 2018). In all treatments, goats showed a great ability to maintain a long grazing activity period from the beginning of the grazing session in the morning, with a first mean grazing meal duration of more than 4 h and then a slow progressive reduction of grazing activities until the evening milking. This was also reported by Keli et al. (2017), with an AT of 6 h/d, but not for an AT of 8 h/d, where 2 mean grazing activity periods were observed. Grazing cows seem to not have this ability to graze during so long periods, with a clear interruption of grazing at midday after 3 h of grazing, including when access time to pasture is short (Pérez-Prieto et al., 2011; Pérez-Ramírez et al., 2009).

The effect of AT on milk production and composition

The fact that there was no significant effect of AT on milk production suggests that 7 h/d of access time to pasture is sufficient to achieve the potential or expected milk production of goats receiving 600 g/d of concentrate and grazing on high quality pastures. Similar results have already been observed in dairy goats (Charpentier and Delagarde, 2018; Keli et al, 2017) and in dairy cows (Kennedy et al., 2009; Pérez-Ramírez et al., 2009) in the same range of variation of access time to pasture. The lack of effect of AT on milk fat and protein concentrations is also consistent with previous studies done with grazing lactating goats (Charpentier and Delagarde, 2018; Keli et al., 2017; Tovar-Luna et al., 2011). It is not clear however why the reduction in pasture intake when access time was restricted to 7 h/d was not reflected by a similar reduction in milk production. We can hypothesise greater extent of digestion of pasture, with more time for

rumination after evening milking, and less energy requirement for grazing activities, as grazing time was reduced by 2.5 h/d (-28%) when access time at pasture was reduced from 11 to 7 h/d.

Goat responses to supplementation

With a daily access time to pasture of 7 h/d, the substitution rate between pasture and dehydrated lucerne averaged 0.72, which is intermediate between substitution rates observed for concentrates (0.2 to 0.4) and for conserved forages (0.8 to 1.1) used as supplements (INRA, 2010) for a similar level of inclusion in the diet. Dehydrated forages may be considered as concentrates when given as pellets, as in this experiment, due to their low rumen filling effect (INRA, 2010). The value of 0.72 may thus be regarded as relatively high, that can be explained by the high quality of the pasture grazed (NRC, 2007) and by the fact that goats already receive 600 g/d of commercial concentrate, leading to greater marginal substitution rate than when compared to goats fed only on forages (INRA, 2010; Sauvant et al., 2012). In the conditions of this experiment, the relatively high substitution rate also suggests that pasture intake was not restricted by access time itself for goats not receiving dehydrated lucerne. In fact, substitution rate is lower when pasture intake is restricted by a grazing management factor than when ruminants are fed *ad libitum* (Delagarde et al., 2011).

The increase in milk production with supplementation (+0.82 kg/kg DM of dehydrated lucerne) is within the range observed for milk production response to concentrate supplementation of grazing dairy goats (Lefrileux et al., 2008; Rubino et al., 1995). The fact that milk fat and protein concentrations were unaffected by dehydrated lucerne supplementation is consistent with the results of Lefrileux et al. (2008), who tested several levels and sources of concentrates at grazing. In large databases, concentrate supplementation generally leads to a decrease of milk fat concentration, but to no variation of milk protein concentration (Sauvant et al., 2012), contrary to what occurs in grazing or stall-fed dairy cows (Delaby et al., 2003; INRA, 2010).

The results of this experiment suggest that providing to grazing goats 400 g/d of dehydrated lucerne has a much stronger positive effect on milk production than an additional grazing period of 4 hours after evening milking. This does not come from a greater intake, as total intake was greater in the AT11 than in the AT7D treatment, due to the high substitution rate between pasture and dehydrated lucerne. It can be hypothesised that the increase in energy requirements in relation to greater access time and effective grazing time and activities in AT11 leads at least partly to an increase in DM intake not reflected in milk production.

5. Conclusions

Dairy goats under rotational grazing systems on multispecies temperate pastures in spring showed a good ability to adapt their grazing behaviour to a time restriction from 11 to 7 h/d, but these adaptations were not sufficient to maintain daily pasture intake. Despite the reduction of pasture intake, it seems that 7 h/d of access time to pasture was sufficient for goats to produce their expected milk production, probably thanks to the 600 g/d of concentrate fed and to the high quality of the pastures. The results of this experiment also suggest that providing to grazing dairy goats 400 g/d of dehydrated lucerne has a much stronger positive effect on milk production than an additional grazing period of 4 hours after evening milking.

Acknowledgements

The authors would like to thank the Nouvelle-Aquitaine Region (France) and the PHASE department of INRA for financing the PhD fellowship of A. Charpentier. This study was partly funded by the french CASDAR project CAPHERB N°5546.

The authors also wish to thank J. Lassalas, P. Lamberton, E. Siroux, F. Briot and G. Mandrile (Pegase, INRA-Agrocampus Ouest, 35750 Le Rheu, France) for milking, feeding, and caring for the goats, and for their help during the measurement periods, as well as T. Le Mouel, N. Huchet and S. Giboulot (PEGASE, INRA Agrocampus Ouest, 35590 Saint-Gilles, France) for their laboratory chemical analyses.

III. Essai 3TA : Effet d'une restriction du temps d'accès au pâturage et d'une complémentation en luzerne déshydratée sur l'ingestion, la production laitière et l'adaptation comportementale des chèvres laitières

Les résultats de cet essai feront l'objet d'une publication :

Charpentier, A., Caillat, H., Gastal, F., Delagarde, R., 2019. Effect of daily access time to pasture and to dehydrated lucerne supplementation on intake, milk production and grazing behaviour responses of strip-grazing dairy goats.
En préparation pour soumission à Grass and Forage Science.

Résumé

L'objectif de cet essai a été de quantifier la réponse d'ingestion, de production laitière et l'adaptation comportementale des chèvres à une restriction du temps d'accès journalier (TA) au pâturage, avec ou sans ajout de luzerne déshydratée en complément.

Les quatre traitements appliqués étaient : (1) un TA de 11 h/j (TA11 ; 8 h entre les deux traites + 3 h le soir), (2) un TA de 8 h/j entre les deux traites (TA8), (3) un TA de 8 h/j entre les deux traites, avec apport de 400 g/j de luzerne déshydratée après la traite du soir (TA8D), et (4) un TA de 5 h/j entre les deux traites, avec apport de 400 g/j de luzerne déshydratée après la traite du soir (TA5D) . Dans tous les traitements, la quantité d'herbe offerte a été de 2,4 kg MS/chèvre/j et les chèvres ont reçu 600 g/j d'un concentré commercial distribué en deux fois par jour. L'essai s'est déroulé au printemps (avril-mai) en carré latin 4 × 3 sur 3 périodes de 14 j, dont 7 jours d'adaptation et 7 jours de mesures. Les caractéristiques initiales moyennes des quarante-huit chèvres Alpine, multipares, ont été : 47 ± 10 jours de lactation, 3,9 ± 0,5 kg/j de lait et 56 ± 6,1 kg de poids vif. Les mesures réalisées sur les chèvres ont été l'ingestion (utilisation de l'oxyde d'ytterbium pour estimer l'excrétion fécale et de la méthode des index fécaux pour estimer la digestibilité de la ration), la production et la composition du lait, les métabolites sanguins ainsi que la durée d'ingestion journalière et la répartition des activités de pâturage au cours de la journée (Lifecorder Plus). Les caractéristiques de la prairie ont été mesurées (biomasse, surface offerte, hauteur, structure, composition botanique et chimique).

Les caractéristiques de l'herbe offerte ont été dans l'ensemble similaires entre les traitements. La hauteur herbomètre en entrée de parcelle était en moyenne de 12,9 cm et la biomasse de 2261 kg MS/ha. Après pâturage, la hauteur mesurée à l'herbomètre (5,3 vs 6,3 cm), et la hauteur étirée des talles (10,3 vs 12,1 cm) ont été plus faibles sur TA11 que sur les autres traitements. La teneur en NDF (414 g/kg MS), en MAT (216 g/kg MS) et la dMO (0,808) de l'herbe ingérée ont été similaires entre traitements.

La production laitière a été de 3,66 kg/j en moyenne. Elle n'a pas été affectée par le TA puisqu'elle a été similaire entre TA11 et TA8 (3,61 kg/j en moyenne) et entre TA8D et TA5D (3,72 kg/j en moyenne). Le taux butyreux a été affecté par le TA et a été plus faible sur TA8 et TA5D. Le taux protéique a été plus faible sur TA11 que sur les autres traitements, et n'a pas été affecté par le TA entre TA8D et TA5D. L'ajout de la luzerne déshydratée avec 8 h/j d'accès a entraîné une réponse de 0,51 kg de lait/kg MS de luzerne déshydratée et une baisse de 1,2 g/kg de lait du taux butyreux. Le poids vif a été le plus faible sur AT8 et le plus élevé sur AT5D.

La dMO de la ration ingérée a été plus faible sur les traitements ayant reçu de la luzerne déshydraté (0,837 vs 0,808) et plus faible sur TA5D que TA8D (0,807 vs 0,810). L'ingestion d'herbe a été en moyenne de 1996 g MS/j. Elle n'a pas été affectée par le TA puisqu'elle a été similaire entre TA11 et TA 8 (1905 g MS/j en moyenne) et entre TA8D et TA5D (1687 g MS/j en moyenne). Avec 8 h/j d'accès, l'ajout de luzerne déshydratée a entraîné une baisse de l'ingestion d'herbe de 170 g MS/j, soit un taux de substitution entre l'herbe et la luzerne déshydratée de 0,48. L'ingestion totale a été de 2524 g MS/j, et n'a pas été affectée par le TA. Avec 8 h/j d'accès, l'ingestion totale a été supérieure de 176 g MS/j avec l'ajout de la luzerne déshydratée. La durée d'ingestion a été en moyenne de 422 min/j. Elle a été plus faible de 83 min sur TA8 que sur TA11 et de 141 min sur TA5D que sur TA8D. Le pourcentage de temps passé à pâturer a été élevé sur tous les traitements (supérieur à 80 % du TA) avec une augmentation de 12 points entre TA11 et TA8 et de 8 points entre TA8D et TA5D. La vitesse d'ingestion moyenne a été de 264 g MS/h d'ingestion et a augmenté lorsque le TA a été réduit (+18 % entre TA11 et TA8 et +33 % entre TA8D et TA5D). Les chèvres ont donc augmenté leur vitesse d'ingestion et la proportion du temps passé à pâturer pour compenser la réduction du temps d'accès.

En conclusion, cet essai montre que les chèvres laitières ont une capacité à adapter leur comportement d'ingestion pour compenser la restriction de temps d'accès. Cette adaptation suggère que 8 h/j d'accès (avec 600 g/j de concentré) ou 5 h/j d'accès (avec 600 g/j de concentré et 400 g/j de luzerne déshydratée) suffisent à atteindre l'ingestion et la production laitière attendue. Les résultats de cet essai suggèrent également qu'une distribution d'un complément de 400 g de luzerne déshydratée à un effet positif plus important sur la production laitière qu'une augmentation du temps d'accès de 3 h/j le soir après la traite.

Effect of daily access time to pasture and to dehydrated lucerne supplementation on intake, milk production and grazing behaviour responses of strip-grazing dairy goats

A. Charpentier [1,2], H. Caillat[2], F. Gastal[2], R. Delagarde[1]

[1] *PEGASE, INRA Agrocampus Ouest, 16 Le Clos, F-35590 Saint-Gilles, France*
[2] *FERLus, INRA, F-86600 Lusignan, France*
Corresponding author: Remy Delagarde. Email: remy.delagarde@inra.fr

Abstract
Contrary to dairy cows, in dairy goat's farms, the access time to pasture is often lower than 12 h/d, but the ability of grazing dairy goats to adapt to short daily access time to pasture is not well known. A 6-week trial was carried out in spring with 48 Alpine dairy goats in mid-lactation to study the effect of the restriction of access time to pasture coupled or not with a supplementation with dehydrated lucerne. Four treatments were compared: (1) 5 h/d of access time to pasture with dehydrated lucerne (namely AT5D); (2) 8 h/d of access time to pasture with dehydrated lucerne (namely AT8D); (3) 8 h/d of access time to pasture without dehydrated lucerne (namely AT8); and (4) 11 h/d of access time to pasture without dehydrated lucerne (namely AT11). The experiment was a 4 × 3 Latin square design balanced for carry-over effect, over 3 successive 14-day periods. The daily pasture allowance was 2.4 kg DM/goat at 4 cm above ground level in all treatments. Each goat received 602 g DM/d of a commercial concentrate, given twice daily at milking. Goats on treatment AT8D and AT5D also received 356 g DM/d of dehydrated lucerne distributed individually after PM milking. Pasture and total intake were not affected by AT. Pasture intake was similar between AT11 and AT8 (1905 g DM/d on average) and between AT8D and AT5D (1687 g DM/d on average). Milk production was not affected by AT and was similar between AT11 and AT8 (3.61 kg/d on average) and between AT8D and AT5D (3.72 kg/d on average). At 8 h/d of access time, the supply of dehydrated lucerne decreased the pasture intake by 170 g DM/d, i.e. a substitution rate of 0.48 between pasture and dehydrated lucerne, and a milk production response of 0.51 kg of milk/kg DM of dehydrated lucerne. Grazing time was affected by AT and decreased by 1.4 h/d and 2.4 h/d between AT11 and AT8, and between AT8D and AT5D, respectively. Pasture intake rate increased by 18% between AT11 and AT8, and by 33% between AT8D and AT5D. The results suggest that 8 h/d of access time (with 600 g/d of concentrate) or 5 h/d of access time (with 600 g/d of concentrate and 400 g/d of dehydrated lucerne) were sufficient for goats to achieve their expected intake and milk production. The results of the experiment also suggest that providing to dairy goats 400 g/d of dehydrated lucerne has a much stronger positive effect than an additional grazing period of 3 hours after PM milking.

Keywords: dairy goat, time restriction, pasture intake, behavior, milk production

1. Introduction

Contrary to dairy or suckling cows which have unrestricted access time to pasture (AT) in most of grazing systems, dairy goats are often allowed to graze only during daytime or only between morning and evening milking (Idele, 2011; Tovar-Lunar et al., 2011). In this case, access time to pasture can be a real time constraint and limit the potential pasture intake of the goats. Intake and milk responses of dairy goats to a restriction of access time below 12 h/d are scarce in the literature. However, it was shown on meat goats (Romney et al., 1996; Berhan et al., 2005) that it is probably in this range that access time could impact pasture intake and behaviour responses. Responses of dairy goats (Keli et al., 2017; Charpentier and Delagarde, 2018; *Chapter 5.II*), most of the time supplemented, is less clear. Access time often advised to dairy goat's farmers is around 10 to 12 h/d, that implies a grazing session after the PM milking in addition to the 7-8 h/d of access time offered between milkings. The ability of goats to adapt themselves to a restriction of access time only between milkings, compared to an longer access time including a grazing session after PM milking is not well known. Similarly, the effect of replacing this post-PM milking session of grazing, that requires farmer work, by the supply of an additional supplement, is unknown. The aim of this experiment was to study the restriction of access time from long (11 h/d) to short (5 h/d) access time to pasture, and to test the goat's responses at various access times to dehydrated lucerne supplementation.

2. Materials and methods

This experiment was carried out in spring 2017, from 7 April to 18 May, at the INRA experimental farm of

Méjusseaume (1.71°W, 48.11°N, Le Rheu, Brittany, France). Procedures relating to care and management of animals for this trial were approved by an animal care committee of the French Ministry of Agriculture, in accordance with French regulations (decree-law 2001-464, 29 May 2001).

2.1 Treatments

Four treatments were compared, differing by the daily access time to pasture and by supplementation level: (1) 5 h/d of access time to pasture with dehydrated lucerne (namely AT5D); (2) 8 h/d of access time to pasture with dehydrated lucerne (namely AT8D); (3) 8 h/d of access time to pasture without dehydrated lucerne (namely AT8); and (4) 11 h/d of access time to pasture (8 h between AM and PM milkings plus 3 h after PM milking) without dehydrated lucerne (namely AT11). The experiment was a 4 × 3 Latin square balanced for carry-over effect, over 3 successive 14-day periods.

The first seven days of the each period were adaptation days, and the next seven days of each period were for measurements. Goats had access to the pasture from 11:00 to 16:00 when the access time was 5 h (AT5D), from 08:00 to 16:00 when the access time was 8 h (AT8 and AT8D) and from 08:00 to 16:00 and from 17:00 to 20:00 when the access time was 11 h (AT11).

For each treatment, the daily pasture allowance was 2.4 kg DM/goat at 4 cm above ground level. Each goat received 262 g DM of a commercial concentrate (**Table 5.11**) through an automatic feeder in the milking parlour twice daily, i.e. 525 g DM/d. The concentrate consisted of the following ingredients on a dry matter basis: barley, 28%; sugar beet pulp, 24%; soyabean meal, 23%; lucerne, 11.5%; wheat bran, 6%; molasses, 3%; linseed, 2%; vegetable oils, 1%; sodium chloride, 0.5%. Goats on treatments AT5D and AT8D also received 380 g DM of dehydrated lucerne distributed individually after PM milking (**Table 5.11**). Goats were milked twice daily at 07:00 and 16:15. Goats were penned inside and per treatment on deep litter at night. Water was available at pasture and indoors and salt block was available only indoors.

2.2 Goats

Forty-eight multiparous Alpine goats were selected for the experiment. Their average kidding date was 16 February 2017. Goats were fed *ad libitum* with grass hay plus concentrate from kidding until the turn-out to pasture, on 15 March 2017. After a transition period from hay to pasture, all goats grazed together as one single herd with 525 g DM/d of concentrate, 380 g DM/d of dehydrated lucerne and 8 h/d of access to pasture from 25 March to 6 April. Four homogeneous groups of 12 goats were balanced according to their individual characteristics measured from 27 March to 2 April: lactation number (3.4 ± 1.6 lactations), stage of lactation (47 ± 9.5 days in milk), milk production (3.9 ± 0.5 kg/d), milk fat concentration (39.4 ± 4.3 g/kg), milk protein concentration (31.4 ± 2.4 g/kg), and body weight (56 ± 6.1 kg). Difference between groups did not exceed 2% for any of these variables, except for lactation number (32%).

Table 5.11 Chemical composition and nutritive value of supplements

Supplement	Concentrate	Dehydrated lucerne	Yb-concentrate
Chemical composition (g/kg DM)			
DM (g / kg of fresh)	897	938	886
OM	931	886	954
CP	210	179	186
NDF	318	478	216
ADF	141	304	78
ADL	17	66	21
Nutritive value			
PDIN (g/kg DM)[1]	150	120	135
PDIE (g/kg DM)[1]	135	104	117
UFL (/kg DM)[2]	1.05	0.70	1.05

[1] Metabolisable Protein when Nitrogen (PDIN) or Energy (PDIE) is limiting for microbial protein synthesis in the rumen (INRA, 2010)

[2] UFL: Unité Fourragère Lait, 1 UFL = 7.115 MJ of Net Energy (INRA, 2010)

2.3 Pastures and grazing management

Pasture used was sown in autumn 2011 with a mixture of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L. cv Tryskal, 10 kg/ha), tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb cv Callina, 10 kg/ha), white clover (*Trifolium repens* L. cv Trissid, 3 kg/ha), chicory (*Cichorium intybus* L. cv Puna, 1 kg/ha) and inoculated lucerne (*Medicago sativa* L. cv Prunelle, 10 kg/ha).

The 2-ha pasture was divided into 3 paddocks, 2 of 6000 m² and 1 of 8000 m². The biggest one was grazed during the pre-experimental period. During the experiment, the 2 paddocks of 6000 m² were divided into four sub-paddocks by electric fences for around 10 d of grazing in each paddock. The four groups of goats grazed adjacent sub-paddocks, working in a strip-grazing system with front fences moved daily and back fences moved twice weekly. The area allocated daily to each treatment was calculated from a daily estimate of pre-grazing pasture mass by multiplying daily pre-grazing sward height by sward bulk density (see *2.4. Feed and pasture measurements*).

2.4 Feed and pasture measurements

Dry matter concentration of commercial concentrate, of Yb-concentrate (*see 2.5.2 Intake and energy balance)* and of dehydrated lucerne was determined daily from day 11 to day 13 of each period on a 100-g sample.

On days 0, 8, 13 and 17, pasture was sampled on 2 strips of 0.5 × 5 m per treatment with a motor-scythe, at a cutting height of 4 cm above ground level. Pasture harvested in each strip was weighed and pasture DM concentration was determined on a representative 500-g subsample, to calculate pasture mass (kg DM/ha). Pre-cut and post-cut sward heights were measured 10 times on each cut strip with a rising platemeter (30 × 30 cm, 4.5 kg/m², Aurea Agrosciences, Blanquefort, France) to calculate the depth of cutting (cm). The sward bulk density (kg DM/ha/cm) was calculated on each strip by dividing the pasture mass (kg DM/ha) by the depth of cutting (cm), and then averaged per date.

The chemical composition of pasture offered was determined on another 500-g subsamples collected on day 6 and 12 in each cut strip, washed for eliminating soil residuals, dried, and bulked per treatment and per period before analyses.

The botanical composition of offered pasture was determined on day 8, from pasture handfuls (minimum 1 kg per treatment) cut with scissors, randomly selected in the pasture to be grazed in the next seven days. Samples were manually sorted into 5 classes: grass, clover, chicory, dandelion, lucerne and other species, then dried and weighed to calculate the proportion of each class on a dry matter basis.

From day 11 to day 14, every morning before grazing, pasture apparently selected by goats was sampled (minimum 500 g per treatment) imitating the post-grazing sward height of the previous day, by cutting pasture handfuls with scissors. Samples were oven-dried and bulked per treatment and per period before chemical analyses.

Pre- and post-grazing pasture heights were determined daily from 30 random measurements per treatment with an electronic platemeter, on the strip to be grazed the next day and on the strip grazed the day before, respectively. Pre-grazing extended tiller height and extended sheath height were measured with a ruler on days 11 and 13 on 50 randomly selected ryegrass tillers per treatment. Post-grazing extended tiller height and extended sheath height were measured on 100 randomly selected ryegrass tillers per treatment, on days 12 and 14. Pre- and post-grazing lamina lengths were calculated by the difference between tiller height and sheath height. The post-grazing proportion of lamina-free tillers was calculated as the proportion of tillers whose main lamina was totally defoliated.

2.5 Animal measurements

2.5.1 Milk production and body weight

Milk production was measured individually at each milking. Milk fat and protein concentrations were determined at each milking from day 11 to day 14 by mid infra-red spectrophotometry (Milkoscan, Foss Electric, Hillerød, Denmark). Body weight was recorded on day 15 after AM milking.

2.5.2 Intake and energy balance

Individual pasture DM intake (PI) was determined during the last 5 days of each period from daily faecal output and diet OM digestibility according to the indirect two-step calculations of the ytterbium oxide (Yb)/faecal index method (Pérez-Ramírez et al., 2012; *Chapter 5.II*). Daily faecal output was estimated from the dilution of Yb incorporated in a pelleted Yb-concentrate. The pelleted Yb-concentrate consisted of the following ingredients on a fresh matter basis: wheat, 35%; wheat bran, 29.5%; soyabean meal, 16%; maize, 15%; molasses, 4%; ytterbium oxide, 0.5%. During all the experiment, each goat received 15.0 g (± 0.1 g) of the Yb-concentrate after each milking (i.e. 0.13 g/d of ytterbium oxide). The last 7 days, the straw litter was covered by woody chips to prevent straw intake by goats. Faeces were rectal-sampled from PM milking on day 10 to AM milking on day 15, after each milking. Faeces were then stored at +4°C and bulked per goat before oven-drying and chemical analyses. Then, PI was calculated according to Equation 1 (Pérez-Ramírez et al., 2012) :

$$PI = \frac{1}{OM_P} \times \left(\frac{\frac{D_{yb}}{F_{yb}}}{(1-OMD_D)} - OMI_S \right) \qquad \text{(Eq. 1)}$$

where PI represents the daily pasture intake (kg DM/d); OM_P represents the selected pasture OM concentration (g/kg DM); D_{yb} represents the daily dose of Yb (mg Yb/day); F_{yb} represents the faecal Yb concentration (mg/kg OM); OMI_S represents the OM intake from all supplements (kg OM/d) and OMD_D represents OM digestibility of the diet, calculated from Equation 2:

$$OMD_D = 0.922 - \frac{0.0194 + \Delta}{F_{CP}} - 0.445 \times F_{ADF}^2 \qquad \text{(Eq. 2)}$$

(n= 41, R^2 = 0.82, RSD = 0.017)

where OMD_D represents OM digestibility of the diet, F_{CP} represents the faecal CP concentration (g/g OM), F_{ADF} represents the faecal ADF concentration (g/g OM), and Δ represents a correction factor related to dehydrated lucerne (Δ = + 0.00192 for diets containing dehydrated lucerne and Δ = - 0.00192 for diets without dehydrated lucerne). This equation was built by multiple regression analysis thanks to a series of 5 indoors experiments between autumn 2015 and spring 2017 (Charpentier et al., 2017; Delagarde *et al.*, unpublished). In these experiments, goats were fed under a large range of diet quality, diet composition and intake level which mimic what could happen under grazing conditions. Intake of each feed and faecal output by total collection were precisely measured during 5 consecutive days at the end of each experimental period.

Individual net energy (in UFL, Unité Fourragère Lait, 1 UFL = 7.12 MJ of NE) and metabolisable protein (PDI) balances were calculated according to INRA (2010) and expressed as the proportion of requirements covered by supply. The UFL and PDI requirements for maintenance and milk production were calculated from body weight (BW) and 3.5% Fat Corrected Milk (FCM) production. The UFL and PDI supplies were calculated from intake of pasture and supplements and from their respective concentrations in UFL and PDI. Nutritive values (UFL and PDI) of pre-grazing and selected pasture were calculated from their chemical composition according to INRA (2010). The digestive interactions between pasture and concentrates were considered in the calculations (INRA, 2010).

2.5.3. Blood metabolites

Blood glucose, urea and NEFA (Non-Esterified Fatty Acids) concentrations were measured on day 15 in the morning, after the weighing of goats. A blood sample was collected per goat by jugular venipuncture into evacuated collection tubes containing Lithium heparin. After centrifugation (2 000 × g at 4°C for 15 min), the plasma was stored at -20°C.

2.5.4. Grazing behaviour

Grazing activities were determined with the Kenz Lifecorder Plus Device (LCP, Suzuken Co. Ltd., Nagoya, Japan) placed in a waterproof box under the goat's neck (Charpentier and Delagarde, 2018). This device allows recording grazing time with a good accuracy on dairy cows (Delagarde and Lamberton, 2015) and dairy goats (Delagarde et al., 2018b). Grazing time was recorded from day 7 to day 14. Grazing meal and grazing time were defined as in Charpentier and Delagarde (2018). Pasture intake rate (g DM/h) was calculated per goat and period by dividing average PI by average grazing time.

2.6. Chemical analyses

The DM concentration of all feeds was measured by drying in a ventilated oven at 60 °C for 48 h for pasture and supplements, and for 72 h for faeces. All oven-dried feed and faecal samples were ground through a 0.8 mm screen before chemical analyses. The OM concentration was determined by ashing at 550 °C for 5 h in a muffle furnace (Association Française de Normalisation, 1997). Nitrogen concentration was determined by the Dumas method (Association Française de Normalisation, 1997) on a Leco apparatus (Leco, St Joseph, MI). The concentrations of Neutral Detergent Fiber (NDF), Acid Detergent Fiber (ADF), and Acid Detergent Lignin (ADL) were measured according to van Soest et al. (1991) on a Fibersac extraction unit (Ankon Technology, Fairport, NY). Pepsin-cellulase digestibility was determined according to Aufrère and Michalet-Doreau (1988). Ytterbium oxide was determined by atomic absorption spectrophotometry with a nitrous oxide/acetylene flame after calcination and digestion in nitric acid, according to Siddons et al. (1985). Blood metabolites concentrations were assessed using a multi-parameter analyser (KONE Instruments 200 Corporation, Espoo, Finland).

2.7. Statistical analyses

The pasture data, averaged per treatment and per period, were analysed according to the principles of the Generalised Linear Model of SAS Institute (2008) as follows:

$$Y_{ij} = \mu + Treatment_i + Period_j + e_{ij}$$

where Y_{ij}, μ, $Treatment_i$, $Period_j$, and e_{ij} represent the analysed variable, the overall mean, the fixed effect of the treatment (n=4), the fixed effect of the period (n=3) and the residual error term, respectively.

Animal data from day 9 to day 14 were averaged per goat were analysed according to the PROC MIXED of SAS (2008):

$$Y_{ijk} = \mu + Goat_i + Period_j + Treatment_k + e_{ijk}$$

where Y_{ijk}, μ, $Goat_i$, $Period_j$, $Treatment_k$, and e_{ij} represent the analysed variable, the overall mean, the random effect of the goat, the fixed effect of the period, the fixed effect of the treatment, and the residual error term, respectively.

Table 5.12 Pre-grazing pasture characteristics: pasture mass, sward height, chemical composition and nutritive value of offered pasture.

Variables	Treatment				SEM	P-value
	AT11	AT8	AT8D	AT5D		
Pasture mass (kg DM/ha)[1]	2073[a]	2442[b]	2435[b]	2094[a]	46.2	0.047
Pre-grazing sward height (cm)						
Rising platemeter	12.2	13.6	13.6	12.2	0.20	0.059
Extended tiller	22.1[a]	27.0[b]	26.4[b]	24.7[b]	0.34	0.010
Extended sheath	5.7	6.7	7.0	5.9	0.19	0.133
Extended lamina[2]	16.4[a]	20.3[c]	19.4[bc]	18.8[b]	0.19	0.003
Chemical composition (g/kg DM)						
DM (g/ kg of fresh)	155	157	160	165	0.9	0.051
OM	897	897	899	902	1.1	0.357
CP	192	179	182	180	3.6	0.608
NDF	459	464	451	446	3.1	0.256
ADF	210	216	208	211	1.6	0.475
ADL	24	24	23	24	1.1	0.969
Nutritive value						
OM digestibility (g/g)[3]	0.831	0.812	0.818	0.814	0.0050	0.573
PDIN (g/kg DM)[4]	125	115	117	115	2.6	0.510
PDIE (g/kg DM)[4]	103	100	100	100	0.8	0.378
UFL (/kg DM)[5]	1.03	1.00	1.02	1.02	0.007	0.499

Access time to pasture (AT) : 11 h/d without dehydrated lucerne (AT11), 8 h/d without dehydrated lucerne (AT8); 8 h/d with dehydrated lucerne (AT8D) and 5 h/d with dehydrated lucerne (AT5D) ; and SEM = Standard Error of the Mean.
[1] Measured at 4 cm above ground level
[2] Difference between extended tiller height and extended sheath height.
[3] Calculated from pepsin-cellulase digestibility (Aufrère and Michalet-Doreau, 1988)
[4] Metabolisable protein when Nitrogen (PDIN) or Energy (PDIE) is limiting for microbial synthesis in the rumen (INRA, 2010)
[5] UFL = Unité Fourragère Lait (1 UFL = 7.115 MJ of Net Energy; INRA, 2010).
[a,b] For each variable, mean values with different superscript letters are significantly different (P < 0.05)

In the Results section, treatment effect (P < 0.05) or tendency (P < 0.10) refer to the global F test. Pairwise comparisons between treatments were tested by Student T-test, and differences between adjusted means are presented only if P < 0.05.

3. Results

3.1. Weather

The weather conditions were typical of spring conditions for the region. Mean temperature and total rainfall during trial were 11.5°C and 98 mm, respectively. This figure was similar to the 2012-2016 same average period (11.6°C and 88 mm).

3.2. Pre-grazing pasture characteristics

Pre-grazing pasture characteristics were close between treatments (**Table 5.12**). Pasture botanical composition was on average 52% of grass (ryegrass and fescue), 23% of dandelion (naturally present), 13% of clover, 6% of lucerne, 5% of chicory and 1% of other species, on a DM basis. Pasture mass and pre-grazing rising platemeter averaged 2261 kg DM/ha and 12.9 cm, and were lower by 355 kg DM/ha and 1.4 cm, respectively, on AT11 and AT5D than on AT8 and AT8D. Pre-grazing extended tiller height and extended lamina length averaged 25.1 and 18.7 cm, respectively and varied from 22.7 to 27.0 cm and from 16.4 to 20.3 cm, respectively, between treatments. Average pre-grazing pasture OM digestibility (0.819), CP concentration (183 g/kg DM) and NDF concentration (455 g/kg DM) are indicative of good quality pastures.

3.3. Grazing management and post-grazing pasture characteristics

Pasture allowance averaged 2.4 kg DM/d, regardless of treatments. Post-grazing rising platemeter height (5.3 *vs* 6.3 cm) and extended tiller height (10.3 *vs* 12.1 cm) were lower on AT11 than on the other treatments (**Table 5.13**). Post-grazing extended lamina height was highest in AT5D and lowest in AT11 (P < 0.05). Thereby, percentage of lamina-free tillers was lowest in AT5D and highest in AT11 and AT8. The quality of the apparently selected pasture was in general unaffected by treatments and was numerically greater than that of offered pasture by 0.028 for OM digestibility and by 33 g/kg DM for CP concentration. The NDF concentration was lower by 41 g/kg DM on apparently selected pasture compared to offered pasture.

Table 5.13 Effect of daily access time and supplementation with dehydrated lucerne on post-grazing pasture characteristics and on quality of the pasture apparently selected by goats.

Variables	Treatment				SEM	P-value
	AT11	AT8	AT8D	AT5D		
Post-grazing sward height (cm)						
Rising platemeter	5.3[a]	6.1[b]	6.2[b]	6.5[b]	0.09	0.025
Extended tiller	10.3[a]	11.9[b]	12.1[b]	12.3[b]	0.18	0.025
Extended sheath	4.9	5.7	5.6	5.0	0.09	0.051
Extended lamina[1]	5.4[a]	6.2[b]	6.5[b]	7.3[c]	0.11	0.006
Lamina-free tillers (%)	11[b]	10[b]	8[ab]	5[a]	0.6	0.046
Chemical composition (g/kg DM)						
DM (g/ kg of fresh)	140	142	147	147	1.5	0.289
OM	893	894	899	901	1.2	0.159
CP	217	214	223	208	3.5	0.551
NDF	414	407	414	420	3.9	0.711
ADF	192	191	193	194	1.8	0.945
ADL	22	21	23	23	0.5	0.724
Nutritive value						
OM digestibility (g/g)[3]	0.858	0.848	0.844	0.840	0.0049	0.6361
PDIN (g/kg DM)[4]	143	139	144	134	2.4	0.491
PDIE (g/kg DM)[4]	109	107	108	106	0.8	0582
UFL (/kg DM)[5]	1.07	1.06	1.07	1.06	0.007	0.879

Access time to pasture (AT) : 11 h/d without dehydrated lucerne (AT11), 8 h/d without dehydrated lucerne (AT8); 8 h/d with dehydrated lucerne (AT8D) and 5 h/d with dehydrated lucerne (AT5D) ; and SEM = Standard Error of the Mean.

[1] Difference between extended tiller height and extended sheath height.

[2] Calculated from pepsin-cellulase digestibility (Aufrère and Michalet-Doreau, 1988)

[3] Metabolisable protein when Nitrogen (PDIN) or Energy (PDIE) is limiting for microbial synthesis in the rumen (INRA, 2010)

[4] UFL = Unité Fourragère Lait (1 UFL = 7.115 MJ of Net Energy; INRA, 2010).

[a,b] For each variable, mean values with different superscript letters are significantly different (P < 0.05)

Table 5.14 Effect of daily access time and supplementation with dehydrated lucerne on milk production, milk composition and body weight of strip-grazing dairy goats.

Variables	Treatment				SEM	P-value
	AT11	AT8	AT8D	AT5D		
Milk production (kg/d)	3.63[a]	3.58[a]	3.76[b]	3.67[ab]	0.031	0.009
Milk fat concentration (g/kg)	34.4[a]	35.5[b]	34.3[a]	36.1[b]	0.22	0.001
Milk protein concentration (g/kg)	28.7[a]	29.1[b]	29.3[b]	29.4[b]	0.10	0.002
3.5% FCM production (kg/d)	3.52[a]	3.55[b]	3.67[b]	3.68[b]	0.032	0.006
Milk fat production (g/d)	125[a]	127[a]	129[ab]	132[b]	1.3	0.007
Milk protein production (g/d)	103[a]	104[a]	110[b]	108[b]	1.1	0.002
Body weight (kg)	50.9[b]	49.8[a]	51.0[b]	52.1[c]	0.18	0.001

Access time to pasture (AT): 11 h/d without dehydrated lucerne (AT11), 8 h/d without dehydrated lucerne (AT8); 8 h/d with dehydrated lucerne (AT8D) and 5 h/d with dehydrated lucerne (AT5D); and SEM = Standard Error of the Mean.

[a,b] For each variable, mean values with different superscript letters are significantly different (P < 0.05)

3.4. Milk production, milk composition and body weight

Milk production and 3.5% FCM production were not affected by AT (**Table 5.14**). Milk production was not affected by AT and was similar between AT11 and AT8 (3.61 kg/d on average) and between AT8D and AT5D (3.72 kg/d on average). Milk fat and protein concentrations were lower by 1.1 and 0.4 g/kg of milk, respectively, on AT11 than on AT8. Milk fat concentration was lower by 1.8 g/kg of milk on AT8D than on AT5D. Milk protein concentration was not affected by AT. The milk production response to dehydrated lucerne supplementation, at similar access time to pasture, was 0.51 kg of milk/kg DM of dehydrated lucerne. At 8 h/d of AT, supplementation with dehydrated lucerne reduced milk fat concentration (-1.2 g/kg, P<0.001) but had no effect on milk protein concentration. Milk fat and milk protein productions were not affected by AT and averaged 126 and 104 g/d for AT11 and AT8 and 131 and 109 g/d for AT8D and AT5D (P<0.001). Body weight was lowest on AT8 (49.8 kg) and highest on AT5D (52.1 kg).

3.5. Faecal output, diet OM digestibility, intake and energy balance

Faecal output was not affected by AT and averaged 363 and 445 g OM/d respectively for AT11 and AT8 compared to AT8D and AT5D (**Table 5.15**). At the same AT

(8 h/d), faecal output was affected by dehydrated supplementation and was greater by 82 g OM/d on AT8D than on AT8. Between AT11 and AT8, diet OM digestibility was not affected by AT and averaged 0.837. Between AT8D and AT5D, diet OM digestibility was lower on AT5D than AT8D. At similar AT of 8 h/d, dehydrated lucerne supplementation reduced diet OM digestibility by 0.026. There was no concentrate refusal and few dehydrated lucerne refusals throughout the experiment. The total supplements intake was of 602 g DM/d for concentrate, 27 g DM/d for Yb-concentrate and 356 g DM/d for dehydrated lucerne (AT5D and AT8D only). Pasture intake was greater on AT11 and lower on AT8D (-312 g DM/d). Pasture intake was similar between AT11 and AT8 and averaged 1905 g DM/d, and was similar also between AT8D and AT5D and averaged 1687 g DM/d. Total intake was lower on AT8 than on AT8D and AT5D (2593 g DM/d on average). At the same AT of 8 h/d, pasture intake decreased by 170 g DM/d when dehydrated lucerne was supplied (P<0.01), which means an average substitution rate of 0.48 between pasture and dehydrated lucerne. Energy (UFL) supply covered 100% of the requirements on AT11 and only 94% on AT8, AT8D and AT5D. The protein (PDI) supply covered more than 100% of the requirements in all treatments and was not affected by treatments.

3.6. Blood metabolites

Uremia averaged 46.9 mg/dl and was lower on AT5D than on other treatments (48.8 *vs* 41.3 mg/dl) (P<0.001; **Table 5.15**). Glycemia and blood NEFA concentration were unaffected by treatments and averaged 65.1 mg/dl and 211 µmol/l, respectively.

3.7 Grazing behaviour

Grazing time decreased with decreasing AT, from 529 min to 285 min/d between AT11 and AT5D (P<0.001; **Table 5.16**). At similar access time (8 h/d), supplementation with dehydrated lucerne reduced grazing time by 20 min/d (P<0.001). Proportion of time spent grazing averaged 0.89 and was affected by AT (P<0.001). Proportion of time spent grazing was greater on AT8 than on AT11 (0.93 *vs* 0.80) and greater on AT5D than on AT8D (0.95 *vs* 0.88). At similar access time (8 h/d), supplementation with dehydrated lucerne reduced the proportion of time spent grazing by 0.04. Number of grazing meals per day decreased with decreasing AT (P<0.001). Pasture intake rate increased with decreasing AT from 211 to 247 g DM/h between AT11 and AT8 and from 233 to 354 g DM/h between AT8D and AT5D. At similar AT (8 h/d), pasture intake rate decreased by 14 g DM/h when dehydrated lucerne was supplied.

Daily pattern of grazing activity showed an intense grazing activity (more than 50 min/h) during the first 4 to 5 hours of access in the pasture for AT11 and AT8D (Figure 1), while and the almost all the time is spent grazing in AT8 and AT5D. Goats on AT11 and AT8D treatments still grazed actively, i.e. around 45 min/h the seventh hour of access, before PM milking. On AT11, after PM milking, the grazing activity was intense (around 50 min/h) during at least 2 hours (**Figure 5.3**).

Table 5.15 Effect of daily access on time intake and blood metabolites of strip-grazing dairy goats.

Variables	Treatment				SEM	P-value
	AT11	AT8	AT8D	AT5D		
Feed intake						
Faecal OM output (g OM/d)	371[a]	354[a]	436[b]	456[b]	6.4	0.001
Diet OM digestibility (g/g)[1]	0.837[c]	0.836[c]	0.810[b]	0.807[a]	0.0005	0.001
Pasture intake (g DM/d)	1976[c]	1834[bc]	1664[a]	1709[ab]	39.0	0.001
Total intake (g DM/d)[2]	2521[ab]	2387[a]	2563[b]	2624[b]	38.9	0.007
UFL supply (% of requirements) [3]	100[b]	95[a]	93[a]	95[a]	1,4	0.030
PDI supply (% of requirements)[4]	142	134	137	140	1.9	0.114
Blood metabolites						
Urea (mg/dl)	48.6[b]	48.8[b]	48.9[b]	41.3[a]	0.50	0.001
Glucose (mg/dl)	65.8	65.7	64.2	64.5	0.48	0.157
NEFA (µmol/l)	216	218	217	191	9.1	0.259

Access time to pasture (AT) : 11 h/d without dehydrated lucerne (AT11), 8 h/d without dehydrated lucerne (AT8); 8 h/d with dehydrated lucerne (AT8D) and 5 h/d with dehydrated lucerne (AT5D) ; and SEM = Standard Error of the Mean.

[1] From faecal indicators

[2] Total intake = Pasture intake + concentrate + Yb-concentrate + dehydrated lucerne

[3] UFL = Unité Fourragère Lait (1 UFL = 7.115 MJ of Net Energy; INRA, 2010)

[4] PDI = Protein truly Digested in the Intestine (INRA, 2010)

[a,b] For each variable, mean values with different superscript letters are significantly different (P < 0.05)

Table 5.16 Effect of daily access time and supplementation with dehydrated lucerne on grazing behaviour of strip-grazing dairy goats.

Variables	Treatment				SEM	P-value
	AT11	AT8	AT8D	AT5D		
Grazing time (min/d)	529[d]	446[c]	426[b]	285[a]	4.1	0.001
Proportion of time spent grazing	0.80[a]	0.92[c]	0.88[b]	0.95[d]	0.007	0.001
Number of grazing meals (/d)	5.8[d]	2.4[b]	3.2[c]	1.8[a]	0.11	0.001
Mean grazing meal duration (min)	104[a]	221[d]	151[b]	183[c]	7.3	0.001
First grazing meal duration (min)	258[a]	381[c]	323[b]	259[a]	7.2	0.001
Pasture intake rate (g DM/h)	221[a]	247[c]	233[b]	354[d]	5.9	0.001

Access time to pasture (AT) : 11 h/d without dehydrated lucerne (AT11), 8 h/d without dehydrated lucerne (AT8); 8 h/d with dehydrated lucerne (AT8D) and 5 h/d with dehydrated lucerne (AT5D) ; and SEM = Standard Error of the Mean.
[a,b] For each variable, mean values with different superscript letters are significantly different (P < 0.05)

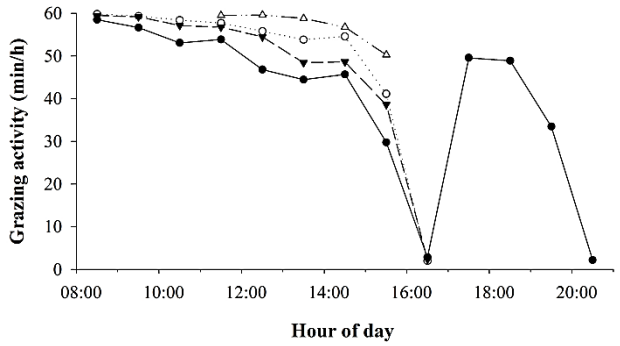

Figure 5.3 Daily pattern of grazing activity of strip-grazing dairy goats according to access time to pasture and to supplementation level with dehydrated lucerne (—●— AT11, ····○···· AT8, - -▼- - AT8D, —△- - AT5D)

4. Discussion

The objective of this study was to quantify the pasture intake and milk production responses, as well as the behavioural adaptation of Alpine dairy goats to daily access time to pasture, and to supplementation with dehydrated lucerne, under strip-grazing management. The experiment was carried out under temperate weather conditions, on high quality multi-species pastures as shown by botanical and chemical composition of the pasture offered and selected in all treatments.

Goat responses to access time

The effect of AT on pasture intake

Contrary to a previous study (*Chapter 5.II*) there was no effect of AT on pasture intake, even on the most restrictive AT, probably because there was only 3 hours difference between treatments compared to the 4 h/d differences in *Chapter 5.II*. Keli et al. (2017) reported also no effect of AT on pasture intake, either between 22 h and 8 h/d or between 8 h and 6 h/d, probably due to a high supplementation level and a low pasture intake. Lower pasture intake with restricted AT has been also observed on meat goats (Romney et al., 1996 ; Berhan et al., 2005; Tovar-Luna et al., 2011), on sheep (Iason et al., 1999; Molle et al., 2014) and dairy cows (Kennedy et al., 2009; Pérez-Ramírez et al., 2008), probably due to low or no supplementation.

The effect of AT on grazing behaviour

Daily grazing time was greatly impacted by AT restriction, with a 16% reduction (-1.4 h/d) between 11 and 8 h/d of AT and with a 33% reduction (-2.4 h/d) between 8 and 5 h/d of AT. Grazing times recorded are slightly greater to those observed on grazing goats with 8 h/d of AT (319 to 381 min/d; Romney et al., 1996; Berhan et al., 2005; Keli et al., 2017; Charpentier and Delagarde, 2018) or with an AT of at least 12 h/d (434 to 624 min/d; Berhan et al., 2005; Tovar-Luna et al., 2011; Keli et al., 2017; Charpentier and Delagarde, 2018). The reduction of grazing time with decreasing AT between 8 and 5 h/d is high (-35 min/d per h of AT less), and close to the reduction observed between 8 and 6 h/d or between 8 and 4 h/d of AT in goat studies (31 min/d per h of AT less on average; Berhan et al., 2005; Charpentier and Delagarde, 2018; Keli et al., 2017; Romney et al., 1996). The reduction of grazing time with decreasing AT between 11 and 8 h/d was lower (-21 min/d per h of AT less).

The average pasture intake rate observed on AT of 11 and 8 h/d (244 g DM/h) is within the greatest values of the range reported for grazing adult's goats (105 to 276 g DM/h; Askar et al., 2013; Keli et al., 2017; Romney et al., 1996; Tovar-Luna et al., 2011) and intake rate observed with 5 h/d of AT was above the greatest reported values (354 g MS/h). This should be related to the high milk production level (> 3.5 kg/d) that can stimulate intake and motivation to eat fast (INRA, 2010), but also to the high quality of the pasture and to the high pre-grazing height that allows to maximise intake rate (Edwards et al., 1995). The increase in pasture intake rate when AT was reduced is consistent with previous studies on dairy goats (Keli et al., 2017; Chapter 5.II), meat goats (Berhan et al., 2005; Romney et al., 1996), sheep (Molle et al., 2017) and dairy cows (Pérez-Ramírez et al., 2008), and shows the ability of

ruminants to eat faster the same feed under greater time constraint (Ginane and Petit, 2005). In our experiment, this relative increase in pasture intake rate between 11 to 8 h/d of access time is about 12%, which is lower than the values reported by the above-cited studies (20-40%), suggesting than the time constraint to graze was not so strong. The increase in pasture intake rate between 8 to 5 h/d of access time is about 52%, which is higher than the range cited previously, suggesting a stronger AT constraint. Goats also showed a great ability to postpone activities other than grazing (i.e. rumination and rest), to prioritise intake, with more than 88% of available time spent grazing when this one was available only between milkings (Charpentier and Delagarde, 2018 ; *Chapter 5.II*). In all AT, goats showed a great ability to maintain a long grazing activity period from the beginning of the grazing session in the morning, with a first mean grazing meal duration of more than 4 h and then a slow progressive reduction of grazing activities until the evening milking, as in our previous experiment (*Chapter 5.II*). This was also reported by Keli et al. (2017), with an AT of 6 h/d, but not for an AT of 8 h/d, where 2 mean grazing activity periods were observed. Grazing cows seem to not have this ability to graze during so long periods, with a clear interruption of grazing at midday after 3 h of grazing, including when access time to pasture is short (Pérez-Ramírez et al., 2009; Pérez-Prieto et al., 2011).

The effect of AT on milk production and composition

The fact that there was no significant effect of AT on milk production suggests that 8 h/d of access time to pasture is sufficient to achieve the potential or expected milk production of goats receiving 600 g/d of concentrate and grazing on high quality pastures, and that 5 h/d of access time is also sufficient to achieve expected milk production for goats receiving 600 g/d of concentrate and 400 g/d of dehydrated lucerne. Similar results have already been observed in dairy goats (Keli et al, 2017; Charpentier and Delagarde, 2018; *Chapter 5.II*) and in dairy cows (Kennedy et al., 2009; Pérez-Ramírez et al., 2009) in the same range of variation of access time to pasture. The effect of AT on milk fat and protein concentrations is not consistent with previous studies done with grazing lactating goats (Charpentier and Delagarde, 2018 ; Keli et al., 2017; Tovar-Luna et al., 2011).

Goat responses to supplementation

With a daily access to pasture of 8 h/d, the substitution rate between pasture and dehydrated lucerne averaged 0.51, which is intermediate between substitution rates reported for concentrates (0.2 to 0.4) than for conserved forages (0.8 to 1.1) used as supplements in dairy goats (INRA, 2010) for a similar level of inclusion in the diet. It is also lower than the substitution rate observed with the same quantity of dehydrated lucerne in a previous study (0.72; *Chapter 5.II*).

The increase in milk production with supplementation (+0.51 kg/kg DM of dehydrated lucerne) is within the range observed for milk production response to concentrate supplementation of dairy grazing goats (Lefrileux et al., 2008; Rubino et al., 1995) but lower than the responses observed in *Chapter 5.II*. The fact that milk fat concentration was reduced and that milk protein concentration was not affected by dehydrated lucerne supplementation are consistent with large databases on concentrate supplementation (Sauvant et al., 2012).

The results of this experiment also suggest that providing to grazing goats with 5 or 8 h/d of AT a 400 g/d supplement of dehydrated lucerne has a much stronger positive effect on milk production than an additional grazing period of 3 hours after afternoon milking. This does not come from a greater intake, as total intake was similar in the AT11 than in the AT8D and AT5D treatments, due to the substitution rate between pasture and dehydrated lucerne. It can be hypothesised that the increase in energy requirements in relation to greater access time and effective grazing time and activities in AT11 leads at least partly to an increase in DM intake not reflected in milk production.

5. Conclusion

Dairy goats under rotational grazing systems on multispecies temperate pastures in spring showed a good ability to adapt their grazing behaviour to a time restriction from 11 to 8 h/d or from 8 to 5 h/d. It seems that 8 h/d of access time was sufficient for goats to achieve their expected intake and milk production, probably thanks to the 600 g of concentrate fed and the good quality of the pasture. It seems that 5 h/d was also sufficient to achieve expected intake and milk production thanks to the 600 g of concentrate and the supplementation of 400 g/d of dehydrated lucerne. The results of this experiment also suggest that providing to dairy goats 400 g/d of dehydrated lucerne has a much stronger positive effect on milk production than an additional grazing period of 3 hours after PM milking.

Acknowledgements

The authors would like to thank the Nouvelle-Aquitaine Region (France) and the PHASE department of INRA for financing the PhD fellowship of A. Charpentier. This study was partly funded by the french CASDAR project CAPHERB N°5546.

The authors also wish to thank J. Lassalas, P. Lamberton, E. Siroux, F. Briot and A. Eveno (Pegase, INRA-Agrocampus Ouest, 35750 Le Rheu, France) for milking, feeding, and caring for the goats, and for their help during the measurement periods, as well as T. Le Mouel, N. Huchet and S. Giboulot (PEGASE, INRA Agrocampus Ouest, 35590 Saint-Gilles, France) for their laboratory chemical analyses.

Chapitre 6 : Effet de la quantité d'herbe offerte

I. Essai 1QO : Réponse laitière et adaptation comportemental des chèvres à une restriction de la quantité d'herbe offerte au pâturage

Les résultats de cet essai ont fait l'objet d'une publication :

Charpentier, A., Delagarde, R., 2018. Milk production and grazing behaviour responses of Alpine dairy goats to daily access time to pasture or to daily pasture allowance on temperate pastures in spring. Small Ruminant Research. 162, 48–56.

Résumé

L'objectif de cet essai a été de quantifier la réponse de production laitière et l'adaptation comportementale des chèvres à une restriction de quantité d'herbe offerte (QO) au pâturage.

L'essai s'est déroulé au printemps (mai-juin), sur une seule période de 21 jours dont 7 jours d'adaptation et 14 jours de mesures. Les trois QO comparées ont été de 1,6, 2,3 et 3,0 kg MS/chèvre/j (> 4 cm) en considérant le niveau élevé comme une offre à volonté. Les chèvres ont toutes reçu 556 g MS/j de concentré. Le temps d'accès a été de 13 h/j (8,5 h/j entre les deux traites + 4,5 h/j après la traite du soir). Les caractéristiques moyennes des trente-six chèvres Alpine, dont 3 primipares, ont été : 97 ± 7 jours de lactation, 3,1 ± 0,4 kg/j de lait et 48,4 ± 5,1 kg de poids vif. Les mesures réalisées sur les chèvres ont été la production et la composition du lait ainsi que la durée d'ingestion journalière et la répartition des activités de pâturage au cours de la journée (Lifecorder Plus). Les caractéristiques de la prairie ont été mesurées (biomasse, surface offerte, hauteur, structure, composition botanique et chimique).

Les caractéristiques de l'herbe offerte ont été similaires entre les traitements. La hauteur herbomètre en entrée de parcelle était de 16,7 cm et la biomasse de 2660 kg MS/ha. Après pâturage, la hauteur mesurée à l'herbomètre (5,4 *vs* 6,1 cm), la hauteur étirée des talles (11,2 *vs* 14,9 cm) et la longueur étirée des limbes (4,2 vs 7,6 cm) ont été plus basses sur la QO Faible que les QO Moyenne et Elevée. La teneur en NDF (421 g/kg MS) et en MAT (183 g/kg MS) et la dMO (0,783) de l'herbe ingérée ont été similaires entre traitements.

La production laitière a été de 2,86 kg/j en moyenne. La production laitière, les taux butyreux et protéique ont été plus faibles de 470 g/j, 1,4 g/kg et 1,7 g/kg avec la QO Faible qu'avec les QO Moyenne et Elevée. Le poids vif n'a pas été affecté par la QO et a été de 48,9 kg en moyenne.

La durée d'ingestion a été en moyenne de 513 min/j. Elle a été la plus faible sur la QO Faible et la plus élevée sur la QO Moyenne, avec une différence de 54 min/j. La durée d'ingestion de la QO Elevée a été intermédiaire. Le pourcentage de temps passé à pâturer a donc diminué de 70 % à 62 % avec la réduction de QO de Moyenne à Faible. Il semble donc que les chèvres n'augmentent pas la durée d'ingestion pour pallier à une probable baisse d'ingestion et de vitesse d'ingestion, liée à la réduction de la facilité de préhension de l'herbe, entre la QO Moyenne et la QO Faible (baisse de production laitière de 13 % et baisse de durée d'ingestion de 10 %).

En conclusion, cet essai montre que les chèvres laitières recevant 600 g/j de concentré et 13 h/j d'accès au pâturage peuvent s'adapter à une restriction de quantité d'herbe offerte jusqu'à 2,3 kg MS/chèvre/j, alors qu'une quantité d'herbe offerte de 1,6 kg MS/chèvre/j au pâturage semble au contraire limitante et entraîne une baisse de production laitière.

Milk production and grazing behaviour responses of Alpine dairy goats to daily pasture allowance on temperate pastures in spring

A. Charpentier, R. Delagarde
PEGASE, INRA Agrocampus Ouest, 16 Le Clos, F-35590 Saint-Gilles, France

Keywords: Grazing, Dairy goat, Pasture allowance, Behaviour

A B S T R A C T

In a context of price volatility and low feed self-sufficiency of goat farms in Western Europe, grazing may play an important role. Knowledge about the impact of grazing management – particularly daily access time to pasture or pasture allowance – on dairy goats' performance is scarce. A 3-week trial was carried out in spring with 36 Alpine goats in mid-lactation. Three daily pasture allowances (PA: 1.6, 2.3 or 3.0 kg DM/goat, measured at 4 cm above ground level) were compared. Goats individually received 278 g DM of concentrate twice daily, at each milking, and access time to pasture was of 13 h/d (from 07:30 to 16:00 and from 17:00 to 21:30). Milk production was similar between medium and high levels of PA, and was lower for the lowest level of PA (−500 g/d at the lowest PA). Milk fat and protein concentrations only slightly varied between the different levels of PA. Goats maintained an intense grazing activity. Grazing time (around 515 min/d) and proportion of time spent grazing (around 66 %) were only marginally by PA.

1. Introduction

Grazing in intensive dairy goat systems is known to improve feed self-sufficiency, while reducing production costs and environmental issues (Nahed et al., 2006; Ruiz et al., 2009). However, in temperate regions of Western Europe, the number of farms using grazing to feed goats significantly decreased over several decades, due to the development of large herds (Brocard et al., 2016), high parasitism occurrence and anthelmintic resistance (Hoste et al., 2002), and difficulty of grazing management (Lefrileux et al., 2008). Nowadays, with the increase in input prices, the specifications required for a protected designation of origin, the development of organic farming and consumers' demands for natural products, grazing can reclaim an important place in goat's feeding systems. To do so, more knowledge about the relationship between grazing management and goat performance is required.

Sward structure (sward height, pasture mass, leaf:stem ratio), grazing pressure (stocking rate, pasture allowance, post-grazing sward height), and daily access time to pasture, are known to be important factors affecting pasture intake and milk production of lactating ruminants (Poppi et al., 1987; Penning et al., 1994; Delagarde et al., 2011). Very few studies have been carried out on the impact of grazing management on dairy goats (Lefrileux et al., 2008). The effects of daily daily pasture allowance on milk production and behaviour of dairy goats grazing on improved temperate pastures are unknown, although there have potentially important practical implications for herd and grazing management on farms. It has been shown that increasing stocking rate (indirectly decreasing pasture allowance) negatively affects pasture intake (Bonanno et al., 2007) and diet selection behaviour (Animut et al., 2005). With decreasing pasture availability during the grazing down process under rotational grazing, goats' daily intake seems to decrease faster than in sheep or cows, suggesting goats may be more sensitive than other ruminants to sward structure and physical constraints (Collins and Nicol, 1986, 1987).

This study aims to quantify milk production responses as well as the behavioural adaptation of dairy goats to variations of daily pasture allowance while grazing improved temperate pastures in spring.

2. Materials and methods

2.1. Experiments, treatments and experimental design

The 3-week trial was carried out in spring 2015, from 27 May to 17 June, at the INRA experimental dairy farm of Méjusseaume (1.71°W, 48.11°N, Le Rheu, Brittany, France).

Three daily pasture allowances (1.6, 2.3 or 3.0 kg DM/goat, namely Low, Medium and High, respectively) were compared. Treatments were chosen to test the adaptability of goats to restrictions of pasture allowance, considering that goats are fed ad libitum in High (INRA, 2010). For all treatments, the daily access time to pasture was 13 h. Goats had access to pasture in 2 sessions, 8.5 h

between AM and PM milkings (from 07:30 to 16:00) and 4.5 h after PM milking (from 17:00 to 21:30). Each goat received individually 556 g DM/d of a commercial concentrate fed twice daily at milking times (**Table 6.1**). Goats received no forage supplementation because of the access to pasture after PM milking.

Table 6.1 Chemical composition and nutritive value of concentrate used.

Variable	Concentrate
Chemical composition (g/kg DM)	
DM (g/kg)	906
OM	930
CP	218
NDF	298
ADF	147
ADL	25
Nutritive value	
PDIN (g/kg DM)[1]	132
PDIE (g/kg DM)[2]	119
UFL (/kg DM)[3]	0.92

[1,2] Protein truly Digested in the small Intestine when Nitrogen (PDIN) or Energy (PDIE) is limiting for microbial protein synthesis in the rumen (INRA, 2010).
[3] UFL: Unité Fourragère Lait, 1 UFL=7.115 MJ of Net Energy (INRA, 2010).

The concentrate consisted of the following ingredients on a dry matter basis: barley, 28%; sugar beet pulp, 24%; soyabean meal, 23%; lucerne, 11.5%; wheat bran, 6%; molasses, 3%; linseed, 2%; vegetable oils, 1%; sodium chloride, 0.5%.

2.2. Goats

A pre-experimental period was carried out from 12 May to 26 May, with 13 h/d of access time to pasture, 600 g/d of concentrate, and no forage supplementation. Three new homogenous groups of 12 goats were formed according to parity (1 primiparous per group; 3.1 ± 1.5 lactations), stage of lactation (97 ± 7.2 days in milk), milk production (3.1 ± 0.4 kg/d), milk fat concentration (34.7 ± 3.4 g/kg), milk protein concentration (30.0 ± 2.3 g/kg), and body weight (48.4 ± 5.1 kg), measured from 12 May to 19 May. Difference between groups did not exceed 3% for any of these variables. Each new group was then assigned to 1 of the 3 treatments from the first to the last day of the trial. Goats were penned at night inside, divided per treatment, on deep litter.

2.3. Pastures and grazing management

The pasture used was sown in autumn 2011 as a multispecies sward with perennial ryegrass (Lolium perenne L. cv Tryskal, 10 kg/ha), tall fescue (Festuca arundinacea Schreb cv Callina, 10 kg/ha), inoculated lucerne (Medicago sativa L. cv Prunelle, 10 kg/ha), white clover (Trifolium repens L. cv Trissid, 3 kg/ha), and chicory (Cichorium intybus L. cv Puna, 1 kg/ha).

The pasture was divided into 2 experimental plots of 6000m^2 each. Goats successively grazed the first and the second plot. Each plot was divided longitudinally into 3 paddocks using electric fences. The 3 groups of goats grazed adjacent paddocks under strip-grazing management with a front electric fence (moved daily) and back electric fence (moved every 3–4 days). The area allocated daily to each treatment was calculated from a daily estimate of the pre-grazing pasture mass above 4 cm, by multiplying the pre-grazing sward height, measured daily, by the sward bulk density above 4 cm, estimated twice weekly (see below). Goats grazed around 10–11 days in each plot. Water was available in each paddock and indoors, and salt blocks were available indoors only.

In case of heavy rain, goats were kept inside and received an amount of grass hay proportional to the deficit of the planned access time to pasture. Goats never stayed inside all day, and limited hay distribution was necessary only 1 day during the trial.

2.4. Feed and pasture measurements

Dry matter concentration was determined once weekly for concentrate and dehydrated forages, and all these feeds were sampled for chemical analyses.

Pre-grazing pasture mass, and thus pasture allowance, was measured at 4 cm above ground level twice weekly, by cutting 2 strips of 0.5×5m per treatment with a motor scythe, which means 6 strips for approximately 2000-m2 area. Pre-cut and post-cut sward heights were measured 10 times on each cut strip with a rising platemeter (30×30 cm, 4.5 kg/ m2, Aurea Agrosciences, Blanquefort, France) to calculate the depth of cutting. Sward bulk density (kg DM/ha/cm) was calculated by dividing pasture mass by depth of cutting. Pasture DM concentration was determined on a representative 500-g subsample in each cut strip.

The chemical composition of pasture offered was determined on subsamples collected per treatment on days 8, 13, and 18, composited per treatment after drying, for week 2 (mixing day 8 and day 13 samples) and week 3 (day 18 samples) separately.

Pre- and post-grazing pasture heights were determined daily from 30 random measurements per treatment with a rising platemeter, on the area to be grazed the next day and on the area grazed the day before, respectively.

Pre-grazing extended tiller height and extended sheath height were measured with a ruler on days 8, 13, 18 and 21 on 50 randomly selected ryegrass tillers per treatment. Post-grazing extended tiller height and sheath height were measured on 80 randomly selected ryegrass tillers per treatment, on days 9, 14, 20 and 22. Lamina length was calculated pre- and post-grazing, by the difference between tiller height and sheath height. The post-grazing proportion of lamina-free tillers was calculated as the proportion of tillers whose main lamina was totally defoliated.

The botanical and chemical composition of the pasture apparently selected were determined on days 6, 10, 14 and 20, from randomly selected pasture handfuls (minimum of 500 g per treatment) cut with scissors, imitating in each treatment the post-grazing sward height of the previous day. Samples were collected during the morning, before grazing. A first subsample was manually sorted in 5 classes: grasses, clovers, chicory, dandelion (Taraxacum officinale L., not sown but largely present in pastures), and other species, to determine the proportion of each species on a dry matter basis. The second subsample was oven-dried before chemical analyses and bulked per treatment and per week (week 2 and week 3).

2.5. Animal measurements

Milk production was measured individually at each milking. Milk fat and protein concentrations were determined at each milking over 6 non-consecutive days (days 8, 9, 13, 14, 20 and 21) by mid-infrared spectrophotometry (Milkoscan, Foss Electric, Hillerød, Denmark). Body weight was recorded on day 21 after the AM milking. The post-experimental body weight was also measured on day 24, when all goats had been fed on the same diet for 3 days, to measure the body weight with no digestive content differences between treatments (Agabriel and Giraud, 1988).

Grazing activities were determined with the Kenz Lifecorder Plus Device (LCP, Suzuken Co. Ltd., Nagoya, Japan) positioned in a small waterproof plastic box fixed to a single collar, the box being under the goat's neck. The collar was not tightly attached in order to maximize free movement of the box while the goat was grazing. This device was originally developed for measuring human activities and was recently validated for accurately recording daily grazing times and patterns in dairy cows (Delagarde and Lamberton, 2015). To summarise, the mono-axial acceleration of the goat's head associated to grazing activities is processed as an activity level on a scale of 0–9, and the average of the 30 activity levels recorded at 4-s intervals are saved every 2 min. Prior to the experiment, a validation period on goats was performed by comparing data recorded by the Lifecorder device and visual observations.

Goats were observed during 7 sequences of 2–3 h each, for a total of 17 h of observations, where activities of grazing, ruminating or lying were noted every 1-min period, after synchronising hours of the Lifecorder and of the observer. The activity level was close to zero while goats were ruminating or engaged in activities other than grazing. Grazing activity was thus defined as an activity level greater than 0.5 (scale 0–9), as previously defined for dairy cows (similar range of observed activity level). The relative prediction error as defined by Bibby and Toutenburg (1977) between actual grazing time (observed) and predicted grazing time (Lifecorder Plus) averaged 0.08 on an hourly scale (n=17), compared to the value of 0.12 observed in cows during 250 h of observations (Delagarde and Lamberton, 2015), showing a good accuracy of the Lifecorder Plus device for recording goat grazing activity.

Grazing activity was recorded from days 15 to day 21, with at least 3 complete recording days per goat. As only 21 devices were available, 7 goats per treatment were first equipped from day 15 to day 17, the other five goats being equipped from day 18 to day 21, along with two goats for which first days of recordings were eventually not satisfying. Grazing meals were defined as periods of at least 6 min of grazing, separated by at least 6 min of inactivity. Grazing time (min/d) was calculated as the sum of all grazing meals, and was also calculated per hour, to describe the daily pattern of grazing activity (min/h). The proportion of time spent grazing was determined by dividing grazing time (min/d) by access time to pasture (min/d). The number of meals per day and the duration of the first meal of the day (min) were also calculated. The mean grazing meal duration (min) was calculated by dividing the grazing time (min/d) by the number of meals per day.

2.6. Chemical analyses

The DM concentration of all feeds was measured by drying in a ventilated oven at 60 °C for 48 h. All oven-dried feed samples were ground through a 0.8mm screen before chemical analyses. The OM concentration was determined by ashing at 550 °C for 5 h in a muffle furnace (Association Française de Normalisation, 1997). Nitrogen concentration was determined by the Dumas method

(Association Française de Normalisation, 1997) on a Leco apparatus (Leco, St Joseph, MI). Pepsin-cellulase digestibility was determined according to the method of Aufrère and Michalet-Doreau (1988). The concentrations of Neutral Detergent Fiber (NDF), Acid Detergent Fiber (ADF), and Acid Detergent Lignin (ADL) were measured according to van Soest et al. (1991) on a Fibersac extraction unit (Ankon Technology, Fairport, NY). Nutritive value of pre-grazing and selected pasture were calculated from their chemical composition according to INRA (2010).

2.7. Statistical analyses

Week 1 was excluded from statistical analyses because considered as the adaptation period.

The pasture data, averaged per treatment and per week were analysed according to the principles of the Generalised Linear Model of SAS (1999) as follows:

$$Y_{ij} = \mu + treatment_i + week_j + e_{ij}$$

Where Y_{ij}, μ, $treatment_j$, $week_j$, and e_{ij} represent the analysed variable, the overall mean, the fixed effect of treatment (PA, n=3), the fixed effect of the week (n=2) and the residual error term, respectively.

Animal data from day 8 to day 21 were averaged per goat before statistical analyses. Because of rainy days and hay distribution, behaviour data from day 17 were removed before statistical analyses.

The animal data for which a covariate from the pre-experimental period was available (milk production, milk composition, body weight) were analysed according to the Generalised Linear Model of SAS (1999) using the following model:

$$Y_{ij} = \mu + cov_i + treatment_j + e_{ij}$$

Where Y_{ij}, μ, cov_i, $treatment_j$, and e_{ij} represent the analysed variable, the overall mean, the covariate, the fixed effect of treatment (PA), and the residual error term, respectively.

The animal data with no available covariates were analysed according to the following model:

$$Y_{ij} = \mu + treatment_j + e_{ij}$$

All animal data are expressed on a per-goat basis. In the Results section, treatment effect ($P < 0.05$) or tendency ($P < 0.10$) refer to the global F test. Pairwise comparisons between treatments were tested by Student T-test, and differences between adjusted means are presented only if $P < 0.05$.

3. Results

3.1. Weather and pasture growth

The weather conditions were typical of spring conditions for the region. The total rainfall was 37 mm and the mean daily temperature was 15.7 °C. During the 2 weeks before grazing, the daily pasture growth in the experimental plots averaged 103 kg DM/ha/d.

3.2 Pre-grazing pasture characteristics

As expected, pre-grazing pasture characteristics were very close between the different levels of PA (**Table 6.2**). Pasture mass, rising platemeter height, extended tiller height and extended sheath height averaged 3047 kg DM/ha, 16.7 cm, 36.6 cm, and 11.5 cm, respectively.

Offered pasture was of good quality with pre-grazing pasture CP concentration, NDF concentration and OM digestibility averaging 160 g/kg DM, 478 g/kg DM and 0.765, respectively.

Table 6.2 Pre-grazing pasture characteristics for each level of pasture allowance.

Variable	Pasture allowance			SEM	P-value
	Low	Medium	High		
Pasture mass (kg DM/ha)[1]	3003	3215	2924	92.4	0.275
Pre-grazing sward height (cm)					
Rising platemeter	16.5	17.4	16.2	0.36	0.251
Extended tiller	36.4	37.2	36.1	1.26	0.846
Extended sheath	10.7	12.4	11.5	0.89	0.530
Extended lamina[2]	25.7	24.5	24.6	0.60	0.509
Chemical composition (g/kg DM)					
DM (g/kg)	158	147	139	14.1	0.678
OM	884	889	887	3.0	0.578
CP	159	154	166	3.5	0.266
NDF	483	476	475	10.0	0.856
ADF	245	251	248	3.7	0.592
ADL	26	29	33	1.9	0.223
Nutritive value					
OM digestibility [3]	0.769	0.761	0.766	0.0044	0.551
PDIN (g/kg DM)[4]	102	98	106	2.2	0.237
PDIE (g/kg DM)[5]	93	92	94	0.6	0.253
UFL (/kg DM)[6]	0.91	0.91	0.91	0.003	0.499

[1] Measured at 4 cm above ground level.
[2] Difference between extended tiller height and extended sheath height.
[3] Calculated from pepsin-cellulase digestibility (Aufrère and Michalet-Doreau, 1988).
[4,5] Protein truly Digested in the small Intestine when Nitrogen (PDIN) or Energy (PDIE) is limiting for microbial protein synthesis in the rumen (INRA, 2010).
[6] UFL: Unité Fourragère Lait, 1 UFL=7.115 MJ of Net Energy (INRA, 2010).
[a,b] For each variable, mean values with different superscript letters are significantly different ($P < 0.05$).

3.3. Grazing management and post-grazing pasture characteristics

As planned, PA averaged 1.6, 2.3, and 3.1 kg DM/d on Low, Medium and High, respectively, thanks to the large variations of daily area offered (5.6, 7.5, and 10.6m2/d on Low, Medium and High, respectively). Post-grazing rising platemeter height (5.4 vs 6.1 cm, P < 0.05), extended tiller height (11.2 vs 14.9 cm, P < 0.01), and extended lamina length (4.2 vs 7.6 cm, P < 0.05) were lower on Low than on Medium and High (**Table 6.3**). Post-grazing extended sheath height was unaffected by PA. The CP and NDF concentrations of the selected pasture were unaffected by PA and averaged 183 and 421 g/kg DM, respectively. The ADF and ADL concentrations in the selected pasture were greater on High than on Medium and Low (P < 0.05, **Table 6.3**). The botanical composition of the selected pasture was unaffected by the different levels of PA, averaging 0.49 of grass, 0.16 of white clover, 0.10 of chicory, 0.14 of dandelion, and 0.11 of other species, on a DM basis.

The nutritive value of the selected pasture was close between the various levels of PA.

Table 6.3 Effect of daily pasture allowance on post-grazing pasture characteristics and on quality of the pasture apparently selected by goats.

Variable	Pasture allowance			SEM	P-value
	Low	Medium	High		
Post-grazing sward height (cm)					
Rising platemeter	5.4[a]	6.0[b]	6.2[b]	0.05	0.016
Extended tiller	11.2[a]	14.4[b]	15.4[b]	0.23	0.009
Extended sheath	7.0	7.2	7.4	0.56	0.835
Extended lamina[1]	4.2[a]	7.2[b]	7.9[b]	0.41	0.040
Proportion of lamina-free tillers	0.30	0.20	0.14	0.042	0.217
Chemical composition (g/kg DM)					
DM (g/kg)	151	146	154	4.9	0.608
OM	883	882	888	4.6	0.699
CP	191	180	179	4.5	0.300
NDF	420	417	426	3.1	0.316
ADF	232	235	250	2.2	0.051
ADL	37[a]	40[a]	51[b]	1.5	0.040
Nutritive value					
OM digestibility [2]	0.789	0.784	0.776	0.0035	0.075
PDIN (g/kg DM)[3]	123	115	115	3.0	0.292
PDIE (g/kg DM)[4]	99	97	96	0.7	0.143
UFL (/kg DM)[5]	0.95	0.94	0.92	0.005	0.071

[1] Difference between extended tiller height and extended sheath height.
[2] Calculated from pepsin-cellulase digestibility (Aufrère and Michalet-Doreau, 1988).
[3,4] Protein truly Digested in the small Intestine when Nitrogen (PDIN) or Energy (PDIE) is limiting for microbial protein synthesis in the rumen (INRA, 2010).
[5] UFL: Unité Fourragère Lait, 1 UFL=7.115 MJ of Net Energy (INRA, 2010).
[a,b] For each variable, mean values with different superscript letters are significantly different (P < 0.05).

3.4. Animal performance

There was no concentrate refusal throughout the experiment, and concentrate intake averaged 554 g DM/d. Milk production, milk fat and protein concentrations, milk fat and protein productions, as well as 3.5% FCM production, were similar between Medium and High, and lower on Low than on Medium and High (**Table 6.4**). This reduction averaged 0.47 kg/d for milk production (P < 0.001), 1.4 g/kg for milk fat concentration (P < 0.05), and 1.7 g/kg for milk protein concentration (P < 0.001). Body weight and post-experimental body weight were unaffected by PA and averaged 48.9 and 49.1 kg, respectively.

Table 6.4 Effect of daily pasture allowance on performance and grazing behaviour of strip-grazing dairy goats.

Variable	Pasture allowance			SEM	P-value
	Low	Medium	High		
Milk production (kg/d)	2.55[a]	2.93[b]	3.10[b]	0.062	0.001
Milk fat concentration (g/kg)	32.1[a]	33.6[b]	33.5[b]	0.44	0.040
Milk protein concentration (g/kg)	28.5[a]	30.2[b]	30.2[b]	0.21	0.001
Milk fat production (g/d)	81[a]	98[b]	103[b]	2.3	0.001
Milk protein production (g/d)	72[a]	88[b]	93[b]	2.2	0.001
3.5%FCM production (kg/d)[1]	2.37[a]	2.85[b]	3.00[b]	0.065	0.001
Body weight (kg)[2]	48.9	48.4	49.3	0.35	0.211
Post-experimental body weight (kg)[3]	49.5	49.1	48.8	0.35	0.372
Grazing time (min/d)	489[a]	543[b]	513[ab]	13.2	0.024
Proportion of time spent grazing	0.62[a]	0.70[b]	0.66[ab]	0.017	0.009
First grazing meal duration (min)	187	201	157	14.0	0.099
Number of grazing meals (meals/d)	9.4	9.5	7.6	0.60	0.068
Mean grazing meal duration (min)	57	59	69	4.2	0.102

[1] 3.5% FCM: 3.5% Fat Corrected Milk.
[2] Measured the last day of trial (day 21).
[3] Measured 3 days after the end of experiment when all goats grazed together on the same diet.
[a,b] For each variable, mean values with different superscript letters are significantly different (P < 0.05).

3.5. Grazing behaviour

Access time to pasture averaged 783 min/d (**Table 6.4**). Grazing time averaged 515 min/d, and was 54 min/d lower on Low than on Medium, representing 0.62 and 0.70 of access time to pasture spent grazing, respectively. Grazing time and proportion of time spent grazing on High were intermediate (513 min/d and 0.66, respectively). The first grazing meal duration and the number of grazing meals averaged 182 min and 8.8 meals/d, respectively, and both tended to be lower on High than on Medium and Low (P < 0.10). The mean grazing meal duration (62 min) was not significantly different between treatments.

Grazing activity progressively decreased from the morning to the night, with no strong differences in the

nictemeral pattern of grazing activity between the levels of PA (**Figure 6.1**).

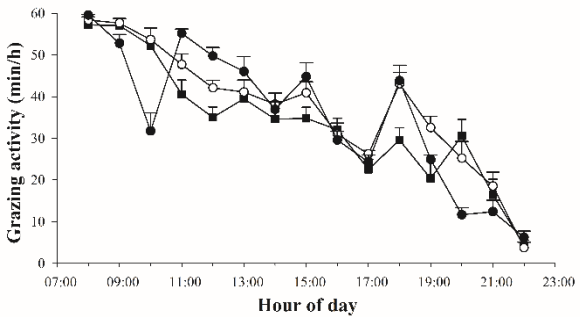

Figure 6.1. Daily pattern of grazing activity of strip grazing dairy goats at three daily pasture allowances (■ Low, ○ Medium; ● High; vertical bars: SE).

4. Discussion

The objective of this study was to quantify the milk response and behavioural adaptation of dairy goats to variations of daily pasture allowance, in temperate spring conditions. The observed variations in goats' performance may be directly attributed to variations of daily pasture allowance, because all other management factors were similar between treatments.

Pasture allowance affected both the performance and the feeding behaviour of grazing dairy goats. In the conditions of this experiment, a pasture allowance of more than 2.3 kg of DM/goat/d seems ineffective for significantly increasing milk, milk fat and milk protein productions.

The average milk production response between Low and Medium (+0.54 kg milk/kg DM offered) is close to values already observed with lactating goats grazing at different stocking rates (+0.46 kg milk/kg DM offered between high to medium stocking rate, Bonanno et al., 2007). The fact that no significant difference in milk protein production or 3.5%-FCM production was observed between Medium and High suggests close total intake and energy supply, considering the small variation of nutritive value of the selected pasture between the different levels of PA. Such results were also already observed by Bonanno et al. (2007) who did not observe any milk production variation between medium and low stocking rates.

A pasture allowance of 2.3 kg DM/d therefore seems sufficient for goats receiving 600 g/d of concentrate and having an access time to pasture of 13 h/d to achieve their intake capacity. As a consequence, the pasture utilisation rate increased and the milk production per hectare increased when PA decreased. For example, we calculated that, from High to Low, milk production per goat decreased by 18%, while milk production per ha, estimated based on milk production per goat and daily area offered, increased by 55%. A similar inverse relationship between milk produced per goat and per hectare has been found with lactating Girgentana goats grazing at different stocking rates (Bonanno et al., 2007). In said study, milk production per goat decreased by 25% while milk production per hectare increased by 62% when the stocking rate increased from 36 to 72 goats per ha over a 2-month period. Similar results have long been observed in other ruminant species, and PA is often cited as the main factor for determining the efficiency of pasture use. In dairy cows, it is suggested that a PA which reduces individual milk production (McMeekan and Walshe, 1963) or pasture intake (Peyraud and Delagarde, 2013) by 10% is probably the best compromise between pasture utilisation rate and individual milk production. In dairy goats, longer term studies on pasture allowance or stocking rate effects are needed to better quantify the trade-off between per-goat and per-hectare milk production responses.

The decrease of milk fat concentration in Low was unexpected and contradicted existing knowledge. In most cases, milk fat concentration tends to increase with increasing stocking rate or decreasing PA, for goats (Bonanno et al., 2007) and for cows (Pérez-Prieto and Delagarde, 2013), due to greater fibre proportion in the diet, a concentration of the fat produced in a lower milk volume, and/or a mobilisation of fat reserves.
This generally occurs despite a greater concentrate proportion in the diet because of the lower pasture intake, which is known to reduce milk fat concentration in goats (Sauvant et al., 2012). The decreased milk protein concentration in Low may be related to the decrease in milk production and energy supply (INRA, 2010).

Goats showed a great ability to graze during a long period of time daily. The grazing time averaged 515 min/d with an AT of 13 h/d, which is a high grazing time rarely reported in the literature for dairy goats. Although supplemented with 600 g of concentrate, goats in this experiment grazed almost as long as goats with free access to pasture both day and night (530 min/d, Silva et al., 2014) and almost as long as dairy cows with 22 h of AT to pasture (Kennedy et al., 2009; Pérez-Ramírez et al., 2009).

The maximal variation in grazing time was of 10% between the different PA levels, and the lowest grazing time was observed at the more restrictive PA. These

results are consistent with those of Penning et al. (1986), which did not show a clear relationship between grazing time and PA on ewes, but also observed the lowest grazing time on the lowest PA. Similar results were observed on rotationally-grazing dairy cows in the literature review of Pérez-Prieto and Delagarde (2013). In fact, due to the lower area offered when PA is restricted, ruminants need to graze deeper in strata rich in pseudostem and dead material, with reduced leaf proportion, possibly leading to less motivation to graze and more difficulty to severing herbage, and therefore lower pasture intake rate (Penning et al., 1994). This is supported in our experiment by the lower post-grazing lamina length observed in Low, likely indicative of more difficult grazing conditions at the end of the day and thus of lower daily DM intake. There was no proportional relationship between grazing time and milk production variations, as grazing time did not vary significantly between High and Low, while milk production decreased by 18%. It could thus be hypothesised that greater milk production in High was mediated through greater daily pasture DM intake, and that greater pasture DM intake was mediated mainly through greater pasture intake rate, as observed in dairy cows (Pérez-Prieto and Delagarde, 2013).

5. Conclusion

The milk production of dairy goats rotationally-grazing on multispecies temperate swards in spring is affected by daily pasture allowance. When goats are supplemented with only 600 g of concentrate, and have no restriction regarding access time to pasture (13 h/d), a pasture allowance close to 2.3 kg DM/d seems sufficient to maximize individual milk production.

Acknowledgements

The authors wish to thank J. Lassalas, P. Lamberton, J.M. Aubry, E. Siroux, F. Briot and all the staff of the Méjusseaume farm (Pegase, INRA-Agrocampus Ouest, 35750 Le Rheu, France) for milking, feeding and care of goats, and for measurements during the experiment and to T. Le Mouel, N. Huchet and S. Giboulot (Pegase, INRA-Agrocampus Ouest, 35590 Saint-Gilles, France) for laboratory chemical analyses.

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors. "In Puzzle" (Rennes, France) post-edited the English style.

II. Essai 2QO : Ingestion, production laitière et adaptation comportementale des chèvres laitières à une restriction de quantité d'herbe offerte

Les résultats de cet essai ont été soumis pour publication:

Charpentier, A., Caillat, H., Gastal, F., Delagarde, R., 2019. Intake, milk yield, and grazing behaviour of strip-grazing Alpine dairy goats in response to daily pasture allowance. Animal, Accepté en révisions modérées le 19/12/18.

Résumé

L'objectif de cet essai a été de quantifier la réponse d'ingestion, de production laitière et l'adaptation comportementale des chèvres à une restriction de quantité d'herbe offerte (QO) au pâturage.

Les trois QO comparées ont été de 1,7, 2,6 et 3,5 kg MS/chèvre/j (> 4 cm) en considérant le niveau élevé comme une offre à volonté. L'essai s'est déroulé au printemps (mai-juin), selon un carré latin 3x3 équilibré des effets rémanents, sur trois périodes de 14 jours, dont 5 jours d'adaptation et 9 jours de mesures. Les chèvres ont toutes reçu 536 g MS/j de concentré. Le temps d'accès a été de 11 h/j (7,5 h entre les deux traites + 3,5 h après la traite du soir). Les caractéristiques moyennes des trente-six chèvres Alpine multipares ont été : 89 ± 6 jours de lactation, 3,7 ± 0,6 kg/j de lait et 54,6 ± 6,2 kg de poids vif. Les mesures réalisées sur les chèvres ont été l'ingestion (utilisation de l'oxyde d'ytterbium pour estimer l'excrétion fécale et la méthode des index fécaux pour estimer la digestibilité de la ration), la production et la composition du lait, les métabolites sanguins ainsi que la durée d'ingestion journalière et la répartition des activités de pâturage au cours de la journée (Lifecorder Plus). Les caractéristiques de la prairie ont été mesurées (biomasse, surface offerte, hauteur, structure, composition botanique et chimique).

Les caractéristiques de l'herbe offerte ont été dans l'ensemble similaires entre les traitements. La hauteur herbomètre en entrée de parcelle était de 18,5 cm et la biomasse de 3102 kg MS/ha.

Après pâturage, la hauteur mesurée à l'herbomètre (5,8 *vs* 6,9 cm), et la hauteur étirée des talles (13,6 *vs* 21,1 cm) ont été plus basses sur la QO Faible que les QO Moyenne et Elevée. La longueur étirée des limbes et la proportion de surface piétinée ont diminué avec la réduction de QO de 12,5 à 5.8 cm et de 49 à 15% respectivement. La teneur en NDF (509 g/kg MS) et en MAT (184 g/kg MS) et la dMO (0,750) de l'herbe ingérée ont été similaires entre traitements.

La production laitière a été de 3,02 kg/j en moyenne. La production laitière, les taux butyreux et protéique ont été plus faibles de 350 g/j, 0,8 g/kg et 0,5 g/kg avec la QO Faible qu'avec les QO Moyenne et Elevée. Le poids vif a diminué avec la réduction de QO de 54,0 à 52,0 kg.

L'ingestion d'herbe a été en moyenne de 2028 g MS/j et l'ingestion totale a été de 2591 g MS/j. L'ingestion d'herbe a diminué de 101 g MS/ kg de QO entre la QO Elevée et Moyenne et de 216 g MS/ kg de QO entre la QO Moyenne et Faible. La durée d'ingestion a été en moyenne de 476 min/j. Elle a été la plus faible sur la QO Faible et la plus élevée sur la QO Moyenne avec une différence de 44 min/j. La vitesse d'ingestion moyenne a été de 256 g MS/h d'ingestion et a été plus faible de 28 g MS/h sur les QO Faible et Moyenne que sur la QO Elevée. Il semble donc que les chèvres n'augmentent pas la durée d'ingestion pour pallier la baisse de vitesse d'ingestion, liée à la difficulté de préhension de l'herbe quand la QO est faible.

En conclusion, cet essai montre que les chèvres laitières recevant 600 g/j de concentré et 11 h/j d'accès au pâturage peuvent s'adapter à une restriction de quantité d'herbe offerte jusqu'à 2,6 kg MS/chèvre/j, alors qu'une quantité d'herbe offerte de 1,7 kg MS/chèvre/j au pâturage semble au contraire limitante et entraîne une baisse plus importante d'ingestion et une baisse significative de production laitière.

Intake, milk yield, and grazing behaviour of strip-grazing Alpine dairy goats in response to daily pasture allowance

A. Charpentier [1,2], H. Caillat[2], F. Gastal[2], R. Delagarde[1]

[1] *PEGASE, INRA Agrocampus Ouest, 16 Le Clos, F-35590 Saint-Gilles, France*
[2] *FERLUS, INRA, Les Verrines, F-86600 Lusignan, France*

Abstract
Grazing management has an important impact on dairy ruminants' performance. References on the intake and milk yield of dairy goats under rotational grazing systems in temperate regions are scarce. In order to study the effect of pasture allowance on pasture intake, milk yield, and grazing behaviour, a trial was carried out in spring with 36 Alpines goats in mid-lactation. Three daily pasture allowances (PA = 1.7; 2.6 and 3.5 kg DM/d, namely Low, Medium and High, respectively) were compared in a 3 × 3 Latin square design replicated 6 times during 3 successive 14-day periods. Goats individually received 268 g DM of concentrate twice daily at each milking and had access 11 h/d to pasture (from 8:30 to 16:00 and from 17:30 to 21:00). Pasture intake (PI) increased with PA, and more between Low and Medium than between Medium and High (+ 216 *vs* + 101 g DM/kg DM of PA). Milk yield was lower on Low than on Medium and High (2.79 *vs* 3.13 kg/d), similarly to milk fat and protein yields. Grazing time averaged 476 min/d and was lowest on Low and greatest on Medium. Pasture intake rate was lower by 30 g DM/h on Low and Medium than on High. It is concluded that under temperate conditions, when goats are supplemented with 536 g DM of concentrate and have enough access time to pasture (11 h/d), a medium pasture allowance close to 2.6 kg DM/d may be sufficient to maximise milk yield.

Keywords: dairy goat, pasture allowance, intake, behaviour, milk yield.

1. Introduction

Grazing management – including grazing pressure, stocking rate, pasture allowance, and post-grazing sward height – has an important impact on ruminant intake or milk yield (Penning *et al.*, 1986; Poppi *et al.*, 1987; Bonanno *et al.*, 2007a). Under rotational grazing systems, daily pasture allowance (PA) is defined as the product of pre-grazing pasture mass by offered area per animal per day (PA, kg of DM/d). Pasture allowance has been shown to be a good predictor of pasture intake in grazing dairy cows (Pérez-Prieto and Delagarde, 2013) or in sheep (Penning *et al.*, 1986). However, no intake response to PA is available in the literature for grazing dairy goats. Recently, an experiment showed that the milk yield of Alpine dairy goats increases curvilinearly with increasing PA within a range of 1.6 to 3.0 kg DM/d offered at 4 cm above ground level (Charpentier and Delagarde, 2018). Furthermore, most studies on the effect of grazing severity on grazing goats have been carried out on meat goats under continuous grazing management, through variations of stocking rate (SR). Stocking rate is defined as the number of animals per unit area for a specific amount of time (Bonanno *et al.*, 2007a). Unfortunately, it does not take account of pre-grazing pasture characteristics nor of pasture growth rate. In goats, as in other ruminants, increasing SR is known to negatively affect pasture intake and milk yield (Bonanno *et al.*, 2007a), kids' daily weight gain (Animut *et al.*, 2005a; Beker *et al.*, 2009; Celaya *et al.*, 2016), and diet selection behaviour (Animut *et al.*, 2005a). Both PA and SR are indicative of grazing conditions and severity, but dairy goat responses to PA under rotational grazing management cannot be predicted from continuous grazing experiments, as the variables predicting intake are different (Delagarde *et al.*, 2011).

The aim of this study was to determine the effect of PA on the pasture intake, milk yield, and grazing behaviour of dairy goats under strip-grazing management on temperate multispecies swards in spring.

2. Materials and methods

This experiment was carried out in spring from 13 May to 24 June 2016, at the INRA experimental dairy farm in Méjusseaume (1.71°W, 48.11°N, Le Rheu, Brittany, France).

2.1. Treatments and experimental design

Three levels of PA were compared: 1.6, 2.4, and 3.2 kg DM/d determined at 4 cm above ground level (namely Low, Medium and High, respectively). These PA levels were chosen to test the adaptability of goats to

restrictions in PA, considering that goats in High were fed *ad libitum* (INRA, 2010). The experiment was a 3 × 3 Latin square design replicated 6 times each and balanced for carry-over effects, over 3 successive 14-day periods. In each period, days 1 to 7 constituted the adaptation period and days 8 to 14 constituted the measurement period. In all treatments, goats had access to pasture 11 h/d over 2 sessions, 7.5 h between AM and PM milkings (from 8:30 to 16:00) and 3.5 h after the PM milking (from 17:30 to 21:00). Goats were milked twice daily at 07:00 and 16:15. Goats were penned indoors and grouped per treatment on deep litter at night. Each goat received 536 g DM/d of a commercial concentrate (**Table 6.5**), fed twice daily at milking times (2 × 268 g DM) through an automatic feeder, with no forage supplementation. The concentrate consisted of the following ingredients on a dry matter basis: barley, 28%; sugar beet pulp, 24%; soyabean meal, 23%; lucerne, 11.5%; wheat bran, 6%; molasses, 3%; linseed, 2%; vegetable oils, 1%; sodium chloride, 0.5%.

Table 6.5 Chemical composition and nutritive value of supplements.

Supplement	Concentrate	Yb-concentrate
DM (g/ kg fresh weight)	913	903
OM (g/kg DM)	932	953
CP (g/kg DM)	215	182
NDF (g/kg DM)	327	222
ADF (g/kg DM)	144	68
ADL (g/kg DM)	22	19
Nutritive value		
PDIN (g/kg DM)[1]	150	135
PDIE (g/kg DM)[1]	135	117
UFL (/kg DM)[2]	1.05	1.05

[1] Metabolisable protein when Nitrogen (PDIN) or Energy (PDIE) is limiting for microbial synthesis in the rumen (INRA, 2010)
[2] UFL = Unité Fourragère Lait (1 UFL = 7.115 MJ of Net Energy; INRA, 2010)

2.2. Goats

Thirty-six multiparous Alpine goats were selected for the experiment. Their average kidding date was 10 February 2016. Goats were fed *ad libitum* with grass hay plus concentrate from kidding until turn-out to pasture, on 7 March 2016. In March and early April, goats had access to pasture 8 h/d, received 536 g DM/d of concentrate and 370 g DM/d of dehydrated lucerne. After a week of transition, a reference period was carried out from 30 April to 6 May where all 36 goats grazed together during 11 h/d and individually received 536 g DM of concentrate and no more dehydrated lucerne. Six groups of 6 goats were then balanced according to their individual lactation number (3.9 ± 1.6 lactations), stage of lactation (89 ± 5.6 days in milk), milk yield (3.7 ± 0.6 kg/d), milk fat concentration (33.6 ± 3.4 g/kg), milk protein concentration (29.7 ± 2.5 g/kg), and body weight (54.6 ± 6.2 kg). Differences between groups did not exceed 5% for any of these variables. Goats still grazed together until 12 May and were separated per treatment on the morning of 13 May.

2.3. Pastures and grazing management

The pasture used for the present experiments was sown in 2011 with a mixture of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L. cv Tryskal, 10 kg/ha), tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb cv Callina, 10 kg/ha), white clover (*Trifolium repens* L. cv Trissid, 3 kg/ha), chicory (*Cichorium intybus* L. cv Puna, 1 kg/ha) and inoculated lucerne (*Medicago sativa* L. cv Prunelle, 10 kg/ha). The pasture was divided into 4 paddocks and strip-grazed in early spring by goats. During the trial, each paddock was divided into 3 sub-paddocks by electric fences with widths proportional to PA, and grazed successively. All groups grazed in adjacent sub-paddocks, working in a strip-grazing system with the front fence moved daily and the back fence moved twice per week. The area allocated daily to each treatment was calculated from a daily estimate of pre-grazing pasture mass by multiplying the daily pre-grazing sward height by the sward bulk density (see *Feed and pasture measurements*). Water was available at pasture and indoors, and salt blocks were only available indoors at night.

2.4. Feed and pasture measurements

The dry matter concentration of concentrates was determined daily from days 11 to 14 of each experimental period, on a 100 g subsample.

On days 1, 6, and 11 of each period, on each treatment, 2 pasture strips of 0.5 × 5 m were cut at 4 cm above ground level with a motor-scythe. Pasture harvested in each strip was weighed, and pasture DM concentration was determined on a representative 500 g subsample, to calculate pasture mass on a DM basis. Pre-cut and post-cut sward heights were measured 10 times on each cut strip with a rising platemeter (30 × 30 cm, 4.5 kg/m², Aurea Agrosciences, Blanquefort, France) to calculate the depth of cutting. The sward bulk density (kg DM/ha/cm) was calculated by dividing the pasture mass by the depth of cutting. The chemical composition of offered pasture was determined on another 500 g subsample collected on days 6 and 11 in each cut strip,

washed to eliminate soil residuals, and bulked per treatment and per period after drying.

The botanical composition of offered pasture was determined on day 8, from handfuls of pasture (minimum 1 kg per treatment) cut with scissors, randomly selected in the area to be grazed in the next 6 days. Samples were manually sorted into 6 classes: grasses, clovers, chicory, dandelion, lucerne and other species, then dried and weighed to calculate the proportion of each class on a dry matter basis.

The chemical composition of apparently selected pasture was determined on days 11 to 14, every morning before grazing. Handfuls of pasture (minimum 500 g per treatment), imitating the post-grazing sward height of the previous day, were cut with scissors. Samples were oven-dried and bulked per period and per treatment before chemical analyses.

Pre- and post-grazing pasture heights were determined daily from 30 random measurements per treatment with a rising platemeter, on the area to be grazed the next day and on the area grazed the day before, respectively. Pre-grazing extended tiller height and extended sheath height were measured with a ruler on days 11 and 13 on 50 randomly selected ryegrass tillers per treatment. Post-grazing extended tiller height and extended sheath height were measured on 100 randomly selected ryegrass tillers per treatment, on days 12 and 14. Pre- and post-grazing lamina lengths were calculated using the difference between tiller height and sheath height. The post-grazing proportion of lamina-free tillers was calculated as the proportion of tillers whose main lamina was totally defoliated.

On days 12 and 14, before post-grazing extended tiller measurement, the area of trampled pasture was estimated. A 0.1-m² quadrat was thrown at random 20 times in each treatment and the area of trampled pasture within the quadrat was recorded and given a grade from 0 to 5 (0 = no area trampled; 5 = all the area trampled). The sum of all grades in a treatment gave the percentage of the area of pasture trampled (maximum 100%).

2.5. Animal measurements

2.5.1. Milk yield and body weight

Milk yield was measured individually at each milking. Milk fat and protein concentrations were determined at each milking from days 11 to 14 by mid infra-red spectrophotometry (Milkoscan, Foss Electric, Hillerød, Denmark). Body weight was recorded on the last day of each period after the AM milking.

2.5.2. Intake and energy balance

Individual DM pasture intake (PI) was determined during the last 5 days of each period from the daily faecal output and diet OM digestibility according to the indirect 2-step calculation of the Ytterbium oxide (Yb)/faecal index method (Pérez-Ramírez *et al.*, 2012). Daily faecal output was estimated by diluting the Yb incorporated in a pelleted Yb-concentrate. The pelleted Yb-concentrate consisted of the following ingredients on a fresh matter basis: wheat, 35%; wheat bran, 29.5%; soyabean meal, 16%; maize, 15%; molasses, 4%; ytterbium oxide, 0.5%. Throughout the experiment, each goat received 15.0 g (± 0.1 g) of the Yb-concentrate after each milking (i.e. 0.13 g/d of Ytterbium oxide). During the last 7 days of each period, the straw litter was covered by wood chips to prevent straw intake by goats. Faeces were rectally sampled from the PM milking on day 10 to the AM milking on day 15, after each milking. Faeces per goat and per period were then stored at +4°C before oven-drying and chemical analyses.

Then, PI was calculated according to Equation 1 (Pérez-Ramírez *et al.*, 2012) :

$$PI = \frac{1}{OM_P} \times \left(\frac{\frac{D_{yb}}{F_{yb}}}{(1-OMD_D)} - OMI_C \right) \qquad \textbf{(Eq. 1)}$$

where PI represents the daily pasture intake (kg DM/d); OM_P represents the selected pasture OM concentration (g/kg DM); D_{yb} represents the daily dose of Yb (mg Yb/day); F_{yb} represents the faecal Yb concentration (mg/kg OM); OMI_C represents the OM intake from concentrates (kg OM/d) and OMD_D represents OM digestibility of the diet, calculated from Equation 2:

$$OMD_D = 0.922 - \frac{0.0175}{F_{CP}} - 0.445 \times F_{ADF}^2 \qquad \textbf{(Eq. 2)}$$

(n= 41, R^2 = 0.82, RSD = 0.017)

where F_{CP} represents the faecal CP concentration (g/g OM) and F_{ADF} represents the faecal ADF concentration (g/g OM).

This equation, suitable for lactating goats fed on fresh pasture and concentrates, was obtained thanks to a series of 5 indoor experiments carried out between autumn 2015 and spring 2017 (Charpentier *et al.*, 2017; Delagarde *et al.*, unpublished). In these experiments, goats were fed a large range of diet quality, diet composition, and intake

levels, which mimic what could happen under grazing conditions. Intake of each feed and faecal output by total collection were precisely measured during 5 consecutive days at the end of each experimental period.

Individual energy (in Unité Fourragère Lait, UFL = 7.12 MJ of net energy) and metabolisable protein (in PDI) balances were calculated according to INRA (2010) criteria and expressed as proportions of requirements covered by supplies. The UFL and PDI requirements for maintenance and milk yield were calculated using body weight (BW) and 3.5% Fat Corrected Milk (FCM) yield (INRA, 2010). The UFL and PDI supplies were calculated using pasture intake and concentrate intake, and based on their respective concentrations in UFL and PDI. Nutritive values (UFL and PDI) of pre-grazing and selected pasture were calculated using their chemical composition according to INRA (2010). The digestive interactions between pasture and concentrates were considered in the calculation (INRA, 2010).

2.5.3. Blood metabolites

Blood glucose, urea, and NEFA (Non-Esterified Fatty Acids) concentrations were evaluated on the morning of day 15, after weighing. A blood sample was collected by jugular venipuncture into evacuated collection tubes containing Lithium heparin. After centrifugation (2000 × g at 4°C for 15 min), the plasma was stored at -20°C.

2.5.4. Grazing behaviour

Grazing activities were determined with the Kenz Lifecorder Plus Device (LCP, Suzuken Co. Ltd., Nagoya, Japan) placed in a waterproof box under the goat's neck. This device makes it possible to record grazing time with good accuracy on dairy cows (Delagarde and Lamberton, 2015) and goats (Delagarde *et al.*, 2018). Grazing time was recorded from days 7 to 14, with at least 3 or 4 recording days per goat. As only 21 devices were available, 7 goats per treatment were first equipped from days 7 to 11, the other 5 goats being equipped from days 11 to 14, along with 2 goats for which the first days of recordings were unsatisfactory. Grazing meals and grazing time (min/d) were defined in accordance with Charpentier and Delagarde (2018). The pasture intake rate (g DM/h) was calculated per goat and per period by dividing the PI by the average grazing time.

2.6. Chemical analyses

The dry matter concentration of all feeds was measured by drying in a ventilated oven at 60°C during 48 h for pasture and supplements, and during 72 h for faeces. All oven-dried feed and faecal samples were ground through a 0.8 mm screen before chemical analyses. Ash concentration was determined by calcination at 550°C for 5 h in a muffle furnace (Association Française de Normalisation, 1997). Nitrogen concentration was determined using the Dumas method (Association Française de Normalisation, 1997) on a Leco apparatus (Leco, St Joseph, MI). Concentrations of NDF, ADF, and ADL were determined according to van Soest *et al.* (1991) on a Fibersac extraction unit (Ankon Technology, Fairport, NY). Pepsin-cellulase digestibility was determined according to Aufrère and Michalet-Doreau (1988). Ytterbium oxide was determined by atomic absorption spectrophotometry with a nitrous oxide/acetylene flame after calcination and digestion in nitric acid, in accordance with Siddons *et al.* (1985). Blood metabolite concentrations were assessed using a multi-parameter analyser (KONE Instruments 200 Corporation, Espoo, Finland).

2.7. Statistical analyses

The pasture data, averaged per treatment and per period, were analysed according to the following model (PROC GLM; SAS Institute, 2008):

$$\mathbf{Y_{ij} = \mu + PA_i + period_j + \varepsilon_{ij}}$$

where Y_{ij}, μ, PA_i, $period_j$, and ε_{ij} represent the analysed variable, the overall mean, the fixed effect of the PA (n = 3), the fixed effect of the period (n = 3) and the residual error term, respectively.

Animal data were averaged per goat and per period, and were analysed according to the following model (PROC MIXED; SAS Institute, 2008):

$$\mathbf{Y_{ijk} = \mu + goat_i + period_j + PA_k + \varepsilon_{ijk}}$$

where Y_{ijk}, μ, $goat_i$, $period_j$, PA_k, and e_{ijk} represent the analysed variable, the overall mean, the random effect of goat, the fixed effect of period, the fixed effect of PA, and the residual error term, respectively. Pairwise comparisons between treatments were tested by Student T-test and presented as superscript letters in Tables.

3. Results

3.1 Weather

The weather conditions were typical of spring conditions for the region. The mean temperature and total rainfall during May and June were 15.3°C and 148 mm, respectively. These figures were close to the average for the 2011-2015 period (14.8°C and 111 mm, respectively).

3.2 Pre-grazing pasture characteristics

As expected, pre-grazing pasture characteristics were, in general, very close between treatments (**Table 6.6**). The pasture's botanical composition was 57% grass (ryegrass and fescue), 18% dandelion (naturally present), 12% chicory, 7% clover, 5% other species, and 1% lucerne, on a DM basis, and did not differ between treatments. Pre-grazing pasture mass, rising platemeter, extended sheath height, and extended lamina length averaged 3102 kg DM/ha, 18.5 cm, 15.8 cm and 25.6 cm, respectively. Extended tiller height was lower on Low than on Medium and High HA (38.4 *vs* 43.0 cm). Average pre-grazing pasture OM digestibility (0.739), CP concentration (174 g/kg DM), and NDF concentration (538 g/kg DM) are indicative of high-quality pastures.

Table 6.6. Pre-grazing pasture characteristics: pasture mass, sward height, chemical composition and nutritive value of offered pasture.

Variables	Pasture allowance			SEM	P-value
	Low	Medium	High		
Pasture mass > 4 cm (kg DM/ha)	3023	3287	2997	85.5	0.131
Pre-grazing sward height (cm)					
Rising platemeter	18.1	19.4	18.0	0.40	0.138
Extended tiller	38.4[a]	43.0[b]	42.9[b]	0.84	0.031
Extended sheath	14.3	17.4	15.8	0.97	0.180
Extended lamina[1]	24.2	25.6	27.1	0.72	0.103
Chemical composition					
DM (g/ kg fresh)	135	139	138	4.0	0.800
OM (g/kg DM)	889	890	894	2.5	0.437
CP (g/kg DM)	177	175	171	4.9	0.662
NDF (g/kg DM)	532	545	538	6.9	0.468
ADF (g/kg DM)	272	279	275	3.4	0.368
ADL (g/kg DM)	27	30	30	1.2	0.257
Nutritive value					
OM digestibility (g/g)[2]	0.743	0.736	0.737	0.0060	0.671
PDIN (g/kg DM)[3]	114	112	110	3.2	0.637
PDIE (g/kg DM)[3]	94	93	93	0.8	0.552
UFL (/kg DM)[4]	0.88	0.86	0.87	0.011	0.678

[1] Difference between extended tiller height and extended sheath height.
[2] Calculated from pepsin-cellulase digestibility (Aufrère and Michalet-Doreau, 1988)
[3] Metabolisable protein when Nitrogen (PDIN) or Energy (PDIE) is limiting for microbial synthesis in the rumen (INRA, 2010)
[4] UFL=Unité Fourragère Lait (1 UFL=7.115 MJ of Net Energy; INRA, 2010).

3.3. Grazing management and post-grazing pasture characteristics

Actual pasture allowances were close to target levels, thanks to proper control of the offered area, and averaged 1.7, 2.6 and 3.5 kg DM/d for Low, Medium, and High, respectively (**Table 6.7**). Post-grazing rising platemeter height (5.8 *vs* 6.9 cm) and extended tiller height (13.6 *vs* 21.1 cm) were lower on Low than on Medium and High. Post-grazing extended lamina length and the proportion of trampled area increased with increasing PA, respectively from 5.8 to 12.5 cm and from 15 to 49% between Low and High. The proportion of lamina-free tillers was greater on Low than on Medium and High (21 *vs* 11%). The quality of the apparently selected pasture was unaffected by PA and was numerically greater than that of offered pasture by 0.011 for OM digestibility and by 10 g/kg DM for CP concentration, and lower by 30 g/kg DM for NDF concentration.

Table 6.7 Effect of daily pasture allowance on post-grazing pasture characteristics and on quality of the pasture apparently selected by goats.

Variables	Pasture allowance			SEM	P-value
	Low	Medium	High		
Offered area (m²/d)	6.5[a]	8.7[a]	13.2[b]	0.86	0.015
Pasture allowance > 4 cm (kg DM/d)	1.7[a]	2.6[b]	3.5[c]	0.06	0.001
Post-grazing sward height (cm)					
Rising platemeter	5.8[a]	6.7[b]	7.0[b]	0.15	0.015
Extended tiller	13.6[a]	19.6[b]	22.7[b]	0.91	0.007
Extended sheath	7.8[a]	10.1[b]	10.2[b]	0.60	0.074
Extended lamina[1]	5.8[a]	9.4[b]	12.5[c]	0.37	0.002
Lamina-free tillers (%)	21[b]	13[a]	8[a]	1.3	0.008
Proportion of area trampled	0.15[a]	0.31[b]	0.49[c]	0.035	0.008
Chemical composition					
DM (g/ kg fresh weight)	153	149	155	2.6	0.400
OM (g/kg DM)	895	894	901	1.3	0.054
CP (g/kg DM)	181	189	182	4.0	0.411
NDF (g/kg DM)	509	508	509	10.1	0.998
ADF (g/kg DM)	262	259	263	5.4	0.855
ADL (g/kg DM)	27	26	31	1.1	0.089
Nutritive value					
OM digestibility (g/g)[2]	0.755	0.750	0.746	0.0072	0.726
PDIN (g/kg DM)[3]	116	122	117	2.7	0.413
PDIE (g/kg DM)[3]	96	96	96	1.1	0.897
UFL (/kg DM)[4]	0.91	0.90	0.90	0.011	0.816

[1] Difference between extended tiller height and extended sheath height.
[2] Calculated from pepsin-cellulase digestibility (Aufrère and Michalet-Doreau, 1988)
[3] Metabolisable protein when Nitrogen (PDIN) or Energy (PDIE) is limiting for microbial synthesis in the rumen (INRA, 2010)
[4] UFL=Unité Fourragère Lait (1 UFL=7.115 MJ of Net Energy; INRA, 2010).

3.4 Milk yield, milk composition and body weight

Milk yield averaged 3.02 kg/d and was lower by 0.35 kg/d in Low compared to Medium and High (**Table 6.8**). Milk fat concentration averaged 32.8 g/kg and was lower on Low than on High by 0.8 g/kg. Milk protein concentration, 3.5% FCM yield, milk fat yield, and milk protein yield were lower on Low than on Medium and High by 0.5 g/kg, 0.36 kg/d, 14 g/d and 11 g/d, respectively. Body weight was lower by 1.2 kg on Low than on Medium, and was lower by 0.8 kg on Medium than on High.

Table 6.8 Effect of daily pasture allowance on milk yield, milk composition, body weight, intake, blood metabolites and grazing behaviour of strip-grazing dairy goats.

Variables	Pasture allowance			SEM	P-value
	Low	Medium	High		
Milk yield (kg/d)	2.79[a]	3.12[b]	3.15[b]	0.023	0.001
Milk fat concentration (g/kg)	32.3[a]	32.9[ab]	33.1[b]	0.22	0.043
Milk protein concentration (g/kg)	28.5[a]	29.0[b]	29.1[b]	0.11	0.002
3.5% FCM yield (kg/d)	2.62[a]	2.96[b]	3.00[b]	0.023	0.001
Milk fat yield (g/d)	89[a]	102[b]	103[b]	0.9	0.001
Milk protein yield (g/d)	79[a]	90[b]	91[b]	0.8	0.001
Body weight (kg)	52.0[a]	53.2[b]	54.0[c]	0.16	0.001
Feed intake					
Faecal OM output (g OM/d)	429[a]	453[b]	471[c]	6.3	0.001
Diet OM digestibility (g/g)[1]	0.804[a]	0.808[b]	0.809[b]	0.0009	0.002
Pasture intake (g DM/d)	1868[a]	2062[b]	2153[c]	32.7	0.001
Total intake (g DM/d)[2]	2431[a]	2625[b]	2716[c]	32.7	0.001
UFL supply (% of requirements)[3]	101	99	102	1.2	0.336
PDI supply (% of requirements)[4]	156	153	156	1.7	0.460
Blood metabolites					
Urea (mg/dL)	57.7[b]	54.7[a]	53.1[a]	0.85	0.002
Glucose (mg/dL)	59.3	60.4	61.1	0.55	0.063
NEFA (µmol/L)	188	166	177	11.7	0.409
Grazing behaviour					
Grazing time (min/d)	457[a]	501[c]	471[b]	5.0	0.001
Proportion of time spent grazing	0.70[a]	0.77[b]	0.71[a]	0.008	0.001
Number of grazing meals (/d)	6.9[b]	6.0[a]	7.5[c]	0.16	0.001
Mean grazing meal duration (min)	70[a]	88[b]	67[a]	2.2	0.001
First grazing meal duration (min)	200[b]	215[c]	169[a]	5.4	0.001
Pasture intake rate (g DM/h)	246[a]	247[a]	275[b]	4.7	0.001

[1] From faecal indicators
[2] Total intake = Pasture intake + 535 g DM/d of concentrate + 27 g DM/d of Yb-concentrate
[3] UFL = Unité Fourragère Lait (1 UFL = 7.115 MJ of Net Energy; INRA, 2010)
[4] PDI = Metabolisable protein (INRA, 2010)

3.5. Faecal output, diet OM digestibility, intake, and energy balance

Faecal output averaged 451 g OM/d and increased with increasing PA (**Table 6.8**). Diet OM digestibility was lower on Low than on Medium and High (0.804 *vs* 0.809). There was no concentrate refusal throughout the experiment, and total concentrate intake averaged 563 g DM/d (commercial concentrate plus Yb-concentrate). Pasture intake averaged 2028 g DM/d and total intake (pasture + concentrates) averaged 2591 g DM/d, i.e. 132 g/kg $BW^{0.75}$ or 4.9% of BW. Pasture intake was greater by 194 g DM/d on Medium than on Low (i.e. +216 g DM/kg DM of PA), and greater by 91 g DM/d on High than on Medium (i.e. +101 g DM/kg DM of PA). Total intake variations between PA were similar (**Table 6.8**). Energy (UFL) and protein (PDI) supplies respectively averaged 101 and 155% of the requirements, and were unaffected by PA.

3.6. Blood metabolites

Uraemia was greater on Low than on Medium and High (57.7 *vs* 53.9 mg/dL, **Table 6.8**). Glycaemia averaged 60 mg/dL and tended to increase with increasing PA (P<0.06). The blood NEFA concentration averaged 177 µmol/L, and was unaffected by PA.

3.7. Grazing behaviour

Access time to pasture averaged 658 min/d and was similar across all treatments. Grazing time averaged 476 min/d and was lowest on Low and highest on Medium (**Table 6.8**). On Medium, the proportion of time spent grazing was greater than on Low and High (0.77 *vs* 0.70). The number of grazing meals per day averaged 6.8 and was lowest on Medium and greatest on High. The mean grazing meal duration was greater on Medium than on Low and High (88 *vs* 69 min). The first grazing meal duration averaged 195 min and was lowest on High and highest on Medium. The pasture intake rate averaged 256 g DM/h and was greater by 28 g DM/h on High than on Low and Medium (i.e. + 11%). The daily pattern of grazing activity was very close between treatments, with the most important meal during the morning, moderate grazing activity during the afternoon, and another large meal after the PM milking (**Figure 6.2**). The overall lower grazing activity observed on Low occurred mainly in the afternoon and the evening. The overall higher grazing activity on Medium was observed throughout the day.

3.7. Parasitic status

Individual coproscopic analyses carried out at the beginning and at the end of the experiment showed low levels of parasitic infestation (strongyles and coccidia).

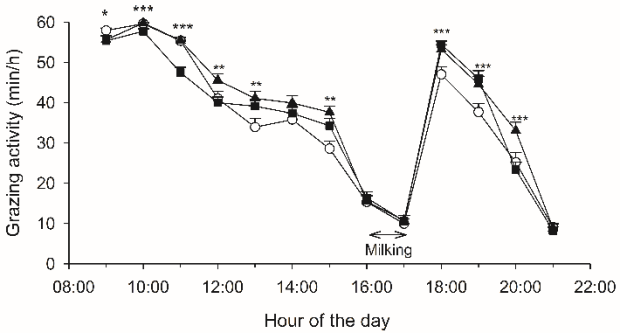

Figure 6.2 Daily pattern of grazing activity of strip-grazing dairy goats at three daily pasture allowances (○= Low, ▲ = Medium, ■ = High; effect of PA per hour: * P<0.05, ** P<0.01, *** P<0.001, vertical bars: SE).

4. Discussion

The objective of this study was to quantify the intake and milk yield responses of Alpine dairy goats, as well as their behavioural adaptation, to daily PA under strip-grazing management, on high-quality multispecies temperate pastures in spring. Although milk yield response and behavioural adaptation to PA have already been investigated (Charpentier and Delagarde, 2018), the present experiment provides the first intake response to PA in grazing dairy goats under strip-grazing systems.

4.1. Effect of PA on pasture intake

In the present study, total DM intake (4.9% of BW or 132 g DMI/kg $BW^{0.75}$) was greater than total intake reported in other dairy goat grazing studies (3.0% BW or 81 g DMI/kg $BW^{0.75}$ on average in Bonanno *et al.*, 2007b and Keli *et al.*, 2017) and in grazing suckling goat studies (between 3.9 and 4.3% BW or between 88 and 118 g DMI/kg $BW^{0.75}$ in Merchant and Riach, 1994; Tovar-Luna *et al.*, 2011; Askar *et al.*, 2013). The greater total intake measured in our study can be explained by the supply of 600 g of concentrate, by the greater milk yield compared to previous studies, which is known to increase the intake capacity of dairy goats, and by the high quality of the offered pasture, with palatable pasture species such as chicory and dandelion increasing pasture ingestibility (INRA, 2010).

The increase in PI was lower when PA increased from Medium to High than from Low to Medium, which is in accordance with the well-known curvilinear response of PI to PA observed in sheep (Penning *et al.*, 1986) and cows (Pérez-Prieto and Delagarde, 2013). This intake response within the tested range of PA suggests that, for goats supplemented with 600 g/d of concentrates, intake is mainly restricted by PA below approximately 2.6 kg DM/d, meaning that the High PA was likely unrestrictive. Moreover, the slopes of the PI response to PA observed in this study are close to the slopes reported in dairy cows, i.e. approximately 100 g DM of PI/kg DM of PA between medium and high PA, and approximately 200-250 g DM of PI/kg DM of PA between low and medium PA (Delagarde *et al.*, 2011; Pérez-Prieto and Delagarde, 2013). More studies are required to compare goats, sheep and cows on their relative ability to adapt to restrictive PA. Under continuous grazing management, Bonanno *et al.* (2007a) also showed that daily intake is negatively related to grazing severity, i.e. stocking rate. The 2 kg increase in BW with increasing PA between Low and High could be explained by the 0.3 kg DM/d increase in PI and to a subsequent short-term increase in digestive contents, known to vary in the ratio of 6/1 with intake (Agabriel and Giraud, 1988), as observed in our experiment. Furthermore, the similar plasma NEFA concentrations between PA levels also suggest that BW changes with PA were not primarily related to mobilisation or constitution of body reserves (Bas, 1984).

4.2. Effect of PA on grazing behaviour

The PI variations between PA may be related to both PI rate and/or grazing time. In our experiment, daily grazing time averaged 476 min, which is within the range (between 348 and 534 min/d) of grazing time observed on adult goats with a daily access time to pasture of more than 12 h (Tovar-Luna *et al.*, 2011; Askar *et al.*, 2013; Silva *et al.*, 2014; Keli *et al.*, 2017; Charpentier and Delagarde, 2018). The average pasture intake rate observed (250 g DM/h) is among the highest values of the range reported for grazing adult goats (Romney *et al.*, 1996; Tovar-Luna *et al.*, 2011; Askar *et al.*, 2013).

The non-linear variation of grazing time with increasing PA, which was highest on Medium and lowest on Low, has been already observed in dairy goats (Charpentier and Delagarde, 2018), but also in sheep (Penning *et al.*, 1986), and in dairy cows (Pérez-Prieto and Delagarde, 2013). At low PA, due to the small area available, goats grazed the deep strata, richer in sheath and dead material, reducing the ease of biting and the pasture intake rate, along with the motivation to graze and the daily grazing time. At Medium PA, goats were able to compensate for the reduced PI rate by increasing their grazing time compared to High, leading to a slight decrease in PI. The decreased motivation to graze and reduced grazing activity in Low were noticeable from 13:00, likely in relation with the

lesser pasture and leave availability (**Figure 6.2**). As in other ruminant species, this behaviour seems specific to rotational or strip-grazing systems. Indeed, under continuous grazing management, goats increase their grazing time with increasing grazing severity (i.e. increasing stocking rate; Animut *et al.*, 2005b), probably because fresh lamina are always available and animals keep a high motivation to graze despite low pasture height and low PI rate. This difference in grazing behaviour adaptation to low pasture availability between grazing systems has been also observed in sheep (Penning *et al.*, 1991, 1994) and in dairy cows (Pérez-Prieto and Delagarde, 2013).

4.3. Effect of PA on milk yield and composition

The milk yield variations with changes in PA are in accordance with pasture intake variations and with the literature. Between high and medium PA, corresponding to around 25% in PA reduction, milk yield was unaffected (numerical reduction inferior to 2%), which is similar to the milk responses already observed for such ranges in PA in dairy goats (Charpentier and Delagarde, 2018) and in dairy cows (Pérez-Prieto and Delagarde, 2013). Between high and low PA, corresponding to a 50% restriction of PA, the decrease in milk yield was approximately 12%, which is also within the range (10 to 20%) of milk yield responses reported by the same authors. The same tendency was observed under continuous stocking management with Girgentana goats, i.e. no variation of milk yield between a low and medium stocking rate, and -24% milk produced between a medium and high stocking rate (Bonanno *et al.*, 2007a).

The slight increase in milk fat concentration with increasing PA is consistent with Charpentier and Delagarde (2018), but conflicts with other studies in dairy goats (Bonanno *et al.*, 2007a) or dairy cows (Pérez-Prieto and Delagarde, 2013), where milk fat concentration generally decreases with increasing PA or decreasing SR. The decrease in milk protein concentration at Low was unexpected, as milk protein concentration in dairy goats does not appear to be related to energy intake (Lefrileux *et al.*, 2008; Sauvant *et al.*, 2012), contrary to observations in dairy cows (INRA, 2010).

5. Conclusion

The pasture intake and milk yield of dairy goats under rotational grazing systems on high-quality multispecies temperate swards in spring were affected by daily pasture allowance in the range of 1.7 to 3.5 kg DM/d. The observed slopes of both intake and milk yield responses make it possible to conclude that a pasture allowance close to 2.6 kg DM/d for dairy goats supplemented with 600 g/d of concentrate is sufficient to maximise individual performance. Under low pasture allowance, the low pasture intake rate explained the reduction of both pasture intake and milk yield, since goats were unable to increase their grazing time.

Acknowledgements

The authors would like to thank the Nouvelle-Aquitaine Region (France) and the PHASE department of INRA for financing the PhD fellowship for A. Charpentier. This study was partly funded by the fourth "Pour et Sur le Développement Régional Grand Ouest (PSDR GO)" programme, Project "Fleche".

The authors also wish to thank J. Lassalas, P. Lamberton, E. Siroux, F. Briot and G. Mandrile (Pegase, INRA-Agrocampus Ouest, 35750 Le Rheu, France) for milking, feeding, and caring for the goats, and for their help during the measurement periods, as well as T. Le Mouel, N. Huchet and S. Giboulot (PEGASE, INRA Agrocampus Ouest, 35590 Saint-Gilles, France) for their laboratory chemical analyses.

Chapitre 7 : Variabilité interindividuelle de l'ingestion et du comportement alimentaire des chèvres laitières au pâturage

Résumé

Les connaissances sur les variations interindividuelles d'ingestion sont peu nombreuses chez les chèvres laitières au pâturage. Les 6 grands facteurs pris en compte dans les modèles de capacité d'ingestion des ruminants sont la production laitière, le poids vif, la parité, le stade de lactation, le stade de gestation et la note d'état corporel, dont seul le poids vif et la production laitière sont pris en compte majoritairement chez les chèvres laitières (INRA, 2010). Un essai de 11 jours a été réalisé en Juin 2017 pour étudier l'effet du stade de lactation, de la parité (primipare ou multipare), de la production laitière, du poids vif et de la note d'état corporel sur l'ingestion. Deux lots de 32 chèvres (9 primipares et 23 multipares) de stade de lactation différents, l'un en pleine lactation (nommé PLact, 110 j de lactation) et l'autre en fin de lactation (nommé FLact, 260 j de lactation) ont été étudiés simultanément dans les mêmes conditions de pâturage. Toutes les chèvres recevaient 600 g de concentré en grains entiers (maïs + lupin) en deux fois par jour. Le pâturage était de type tournant sur 6 jours avec 3,8 kg MS/chèvre/jour d'herbe offerte (offre non limitante). La quantité d'herbe ingérée et la quantité totale ingérée ont été en moyenne de 1,79 et 2,37 kg MS/chèvre par jour et n'ont pas été différentes entre lots. Les primipares ont ingéré en moyenne 600 g MS/j en moins que les multipares. La production laitière a été d'en moyenne 2,36 kg/j, avec une interaction entre le stade et la parité. Les chèvres FLact ont eu des taux plus élevés de 3,6 g/kg et 3,1 g/kg de lait respectivement pour les taux butyreux et protéique. Les chèvres FLact avaient une NEC plus élevée que les chèvres PLact. La durée d'ingestion a été en moyenne plus élevée chez les PLact que chez les FLact, avec une différence de 53 min/j. La parité n'a pas eu d'effet sur la durée d'ingestion. Les régressions multiples et les analyses de covariance réalisées sur les données de l'essai, avec comme facteurs le stade de lactation (PLact vs FLact), la parité (primipares vs multipares) et comme variables explicatives la production laitière, le poids vif et la NEC, ont montré que l'effet de la parité sur l'ingestion était très bien prédit par les écarts de production laitière et de poids vif entre primipares et multipares. Poids vif et production laitière ont donc été les seules variables explicatives significatives des variations interindividuelles d'ingestion.

1. Introduction

Le pâturage constitue un atout majeur dans le contexte actuel de la filière laitière caprine qui est à la recherche de plus d'autonomie alimentaire et de leviers pour répondre aux attentes sociétales et environnementales. Cependant les connaissances sur le pâturage des chèvres laitières et sur les variations d'ingestion d'herbe sont peu nombreuses, relativement anciennes et peu adaptées au contexte des systèmes caprins de l'Ouest de la France. Les six grands facteurs de variation de l'ingestion pris en compte classiquement par les modèles de calcul de la capacité d'ingestion des ruminants sont : la production laitière, le poids vif, la parité (primipare ou multipares), le stade de lactation, le stade de gestation, et la note d'état corporel (NEC) (INRA, 2010). Dans la littérature qui se rapporte plus particulièrement aux chèvres laitières, seuls la production laitière et le poids vif sont souvent pris en compte (AFRC, 1998 ; Luo et al., 2004 ; INRA, 2010). La parité n'est jamais considérée comme un facteur de variation significatif ; le stade de lactation influe sur la capacité d'ingestion seulement dans les 5 premières semaines de lactation, et la gestation n'est prise en compte dans le dernier mois que si la portée contient plus d'un chevreau ; et même si l'effet de la NEC est connu chez les vaches laitières, il n'est pas quantifié et pris en compte à ce jour pour les chèvres laitières (INRA, 2010).

Du fait de la reproduction saisonnée et des mises bas généralement groupées chez les chèvres laitières, il est souvent difficile d'étudier l'effet du stade de lactation sur l'ingestion et les performances. Cependant, le dispositif expérimental INRA Patuchev (Lusignan, 86) est doté de deux troupeaux au pâturage conduits avec des périodes de reproduction différentes, l'un avec des mises-bas à l'automne (septembre) et l'autre avec des mises-bas en fin d'hiver (février), permettant ainsi de comparer deux stades de lactation à un même moment dans des conditions expérimentales identiques.

L'objectif de cet essai a donc été d'étudier simultanément l'effet du stade de lactation, de la parité, du poids vif, de la production laitière et de la note d'état corporel (**NEC**) sur l'ingestion et le comportement alimentaire des chèvres au pâturage.

2. Matériels et méthodes

L'essai s'est déroulé du 6 au 16 Juin 2017 sur le dispositif expérimental INRA Patuchev (UE Ferlus, Lusignan).

Deux lots de 32 chèvres (dont 25 % de primipares) ont été constitués deux semaines avant le début de l'expérimentation à partir du troupeau en pleine lactation (**PLact**) et celui en fin de lactation (**FLact**). Les chèvres sélectionnées devaient permettre de bien décrire la variabilté au sein du troupeau. Ainsi, nous avons défini 3 niveaux de poids vif (PV) et de production laitière (PL) (faible, moyen et élevé) et constitué 9 combinaisons possibles (PV faible/PL faible ; PV faible/PL moyenne ; PV faible/PL élevée ; PV moyen/PL faible etc...). Ensuite, une primipare et 2 ou 3 multipares correspondant à chaque combinaison ont été sélectionnées dans chaque lot (Plact et Flact). Les caractéristiques initiales moyennes des chèvres des deux lots, mesurées pendant la semaine de référence où toutes les chèvres recevaient la même alimentation (15 au 19 mai 2017), sont présentées dans le **Tableau 7.1**. Le stade de lactation était de 86 ± 15 jours en moyenne pour le lot PLact et 237 ± 11 jours pour le FLact. Le poids vif moyen était de 50,4 ± 10,7 kg et 53,8 ± 10,2 kg, et la production laitière de 2,8 ± 0,7 kg et 2,2 ± 0,8 kg respectivement pour le lot PLact et FLact.

La **Figure 7.1** représente la relation entre le poids vif initial et la production laitière initiale, et montre que nous avons réussi à décorréler les deux variables. Ceci doit permettre de mieux décrire les effets respectifs de chaque variable sur l'ingestion.

Une prairie de deux ans composée principalement de légumineuses (Trèfle violet, Luzerne, Trèfle blanc), de plantain lancéolé et de graminées (Brôme sitchensis et Fétuque élevée) a été utilisée pour alimenter les chèvres, toutes au pâturage (**Chapitre 4**). Le pâturage était de type tournant rapide avec une parcelle de 0,5 ha pour chaque lot, divisée en 4 (A1, A2, B1 et B2), permettant de pâturer la zone A pendant les jours d'adaptation et la zone B pendant les jours de mesures de la façon suivante : 2 jours en A1, 2 jours en A2, 1 jour en A (A1 + A2), puis 2 jours en B1, 2 jours en B2, 2 jours en B (B1 + B2). La quantité d'herbe offerte (> 3 kg MS/chèvre/j en moyenne sur A et B) et le temps d'accès aux parcelles (11 h/j, 6 h 30 entre les deux traites puis 4 h 30 après la traite du soir) étaient non limitants. Les chèvres ont reçu 600 g brut/chèvre/j de concentré en grains entiers (500 g de maïs et 100 g de lupin), distribué individuellement en deux fois par jour juste avant ou après la traite selon le lot (**Tableau 7.2**). Les caractéristiques de la prairie ont été mesurées (biomasse, quantité d'herbe offerte, hauteur, composition botanique et chimique ; **Chapitre 4**). Les performances individuelles des chèvres ont été mesurées sur 3 jours pour la quantité et 2 jours pour la composition du lait pendant la semaine de mesure. (**Chapitre 4**). L'ingestion individuelle d'herbe a été mesurée en utilisant l'ytterbium comme marqueur externe pour estimer l'excrétion fécale et en utilisant la composition fécale (N et ADF) pour estimer la digestibilité de la ration (**Chapitre 4 et Annexe 1**). La durée d'ingestion et la répartition des activités de pâturage au cours de la journée ont été enregistrées par un accéléromètre uni-axial (Lifecorder Plus) (**Chapitre 4 et Annexe 2**).

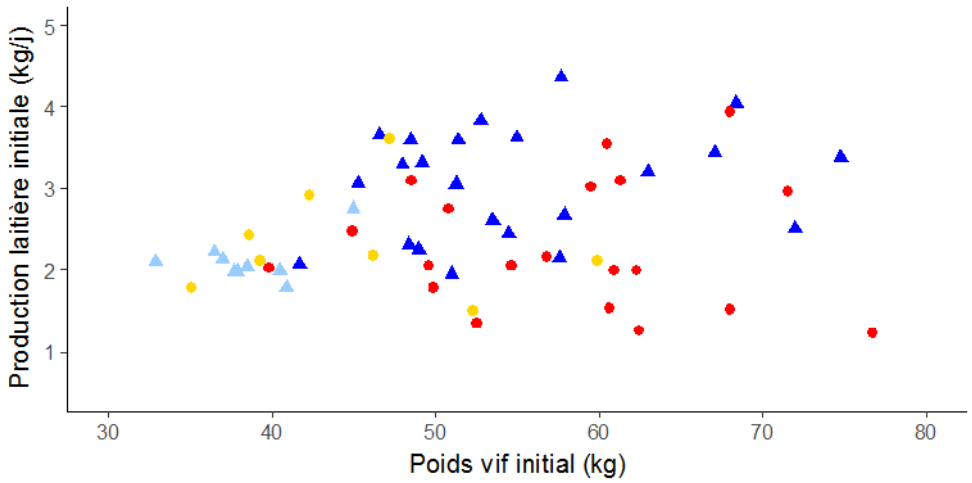

Figure 7.1 Relation inter-individuelle entre la production laitière initiale et le poids vif initial (Primi_PLact ; Multi_PLact ; Primi_FLact ; Multi_Flact)

Tableau 7.1 Caractéristiques individuelles des chèvres de chaque lot, mesurées pendant la semaine de référence du 15 au 19 mai 2017.

					PLact													**FLact**			
chèvre	num_Lact	Parité	Stade	PLBi	TBi	TPi	PLSi	Pvi	NECLombi	NECSterni	**chèvre**	num_Lact	Parité	Stade	PLBi	TBPi	TPPi	PLSi	Pvi	NECLombi	NECSterni
1	7	2	80	3,33	38,3	28,7	3,42	49,2	2,25	2,5	**33**	7	2	228	1,27	30,9	33,8	1,22	62,4	2,25	2,5
2	7	2	69	3,44	29,3	33	3,22	67,1	2,5	3	**34**	6	2	249	2,01	35,0	30,6	2,00	62,3	2,25	2,5
3	6	2	64	2,51	22,0	25,5	1,95	72,0	2,25	2,5	**35**	6	2	226	2,97	29,2	36,8	2,87	71,5	2,5	3
4	5	2	84	3,21	29,3	29,9	2,93	63,0	2	2,5	**36**	5	2	250	2,07	41,6	39,9	2,41	54,6	2,25	2,5
5	5	2	84	3,63	35,7	33,4	3,74	55,0	2,25	2,5	**37**	5	2	249	1,16	41,7	36,3	1,31	48,9	2	2,25
6	5	2	104	2,15	33,2	35,4	2,18	57,6	2,50	3,00	**38**	5	2	248	1,53	33,3	35,8	1,56	60,6	2,5	2,75
7	4	2	78	3,29	30,1	29,0	3,01	48,0	2,25	2,50	**39**	5	2	223	3,03	28,4	34,4	2,84	59,5	2,25	2,5
8	5	2	69	2,31	34,4	32,0	2,31	48,4	2,25	2,50	**40**	4	2	228	3,55	27,2	33,8	3,25	60,5	2,25	2,75
9	4	2	57	4,04	36,0	27,2	3,97	68,4	2,25	2,75	**41**	4	2	248	1,24	29,8	34,7	1,19	76,7	3	3,5
10	4	2	86	3,38	33,2	34,5	3,39	74,8	2,50	3,00	**42**	4	2	230	3,94	35,4	35,4	4,11	68	2,25	2,75
11	3	2	75	4,36	30,2	29,6	4,02	57,7	2,25	2,50	**43**	4	2	229	1,52	27,1	33,7	1,39	68	2,75	3,00
12	3	2	83	3,60	35,5	29,5	3,58	48,5	2,25	2,50	**44**	4	2	252	3,10	38,7	37,8	3,43	61,3	2,25	2,50
13	3	2	104	3,60	31,9	31,6	3,47	51,4	2,25	2,50	**45**	3	2	227	0,66	39,1	38,1	0,74	60,2	2,50	3,50
14	3	2	105	2,62	28,2	29,5	2,35	53,5	2,50	3,00	**46**	3	2	228	2,00	34,6	32,7	2,01	60,9	2,25	3,00
15	3	2	64	3,84	35,7	33,7	3,97	52,8	2,25	2,50	**47**	2	2	249	2,75	31,3	30,7	2,60	50,8	2,25	2,50
16	2	2	103	2,68	26,1	28,5	2,29	57,9	2,50	2,75	**48**	2	2	224	2,06	28,6	35,0	1,94	49,6	2,25	2,50
17	2	2	110	3,65	27,8	31,3	3,30	46,6	2,25	2,50	**49**	2	2	252	3,11	35,7	36,6	3,28	48,5	2,25	2,50
18	2	2	103	1,96	34,9	35,7	2,03	51,0	2,25	2,75	**50**	2	2	250	2,48	32,7	32,5	2,44	44,9	2,50	2,75
19	2	2	67	2,45	33,3	31,5	2,40	54,5	2,50	3,00	**51**	2	2	249	2,75	26,6	28,5	2,37	50,3	2,50	3,00
20	2	2	72	3,07	30,8	31,3	2,90	45,3	2,25	2,50	**52**	2	2	224	1,79	26,4	30,7	1,57	49,9	2,50	2,75
21	2	2	65	2,26	34,4	32,0	2,25	49,0	2,50	2,75	**53**	2	2	226	2,04	39,3	34,8	2,22	39,8	2,25	2,50
22	2	2	85	3,06	30,9	33,1	2,94	51,3	2,25	2,75	**54**	2	2	251	1,36	32,4	35,9	1,37	52,5	2,50	2,75
23	2	2	101	2,08	38,6	33,6	2,23	41,7	2,50	3,00	**55**	2	2	246	2,17	33,8	35,3	2,21	56,8	2,50	2,75
24	1	1	96	2,00	35,4	29,1	1,98	40,5	2,50	2,75	**56**	1	1	228	2,13	30,4	37,5	2,11	59,9	2,75	3,50
25	1	1	95	2,23	29,0	25,5	1,94	36,5	2,25	2,75	**57**	1	1	228	1,90	25,0	29,3	1,61	43,1	2,75	3,00
26	1	1	94	2,04	35,4	30,7	2,04	38,5	2,25	2,75	**58**	1	1	230	1,51	44,1	39,7	1,81	52,3	2,50	2,75
27	1	1	96	2,14	33,8	29,2	2,07	37,0	2,25	2,50	**59**	1	1	237	2,44	34,3	31,0	2,41	38,6	2,50	2,50
28	1	1	94	1,79	30,5	31,1	1,68	40,9	2,50	3,00	**60**	1	1	234	2,13	37,6	34,6	2,27	39,3	2,50	2,75
29	1	1	95	2,10	32,4	28,6	1,99	32,9	2,50	2,75	**61**	1	1	226	2,19	32,6	33,6	2,16	46,2	2,50	2,75
30	1	1	95	1,98	35,8	33,6	2,05	37,7	2,50	2,75	**62**	1	1	244	2,92	32,7	36,4	2,96	42,3	2,25	2,50
31	1	1	96	2,75	30,2	29,3	2,52	45,0	2,50	2,75	**63**	1	1	224	1,79	41,1	34,3	1,98	35,1	2,50	2,75
32	1	1	91	1,99	31,3	29,9	1,87	37,9	2,00	2,50	**64**	1	1	245	3,62	32,7	29,3	3,45	47,2	2,25	2,75
Moyenne	2,9		86	2,8	32,3	30,8	2,69	50,4	2,34	2,70	**Moyenne**	2,9		237	2,22	33,4	34,4	2,22	53,8	2,41	2,76
Minimum	1		57	1,79	22,0	25,5	4,68	32,9	2,00	2,50	**Minimum**	1		223	0,66	25,0	28,5	0,74	35,1	2,00	2,25
Maximum	7		110	4,36	38,6	35,7	4,02	74,8	2,50	3,00	**Maximum**	7		252	3,94	44,1	39,9	4,11	76,7	3,00	3,50
ET	1,8		14,7	0,73	3,6	2,6	0,72	10,7	0,15	0,20	**ET**	1,8		11	0,78	5,0	2,9	0,77	10,2	0,21	0,31
Primipares	1		95	2,11	32,6	29,7	2,02	38,5	2,40	2,72	**Primipares**	1		233	2,29	34,5	34,0	2,31	44,9	2,50	2,81
Multipares	3,6		83	3,07	32,2	31,3	2,95	55	2,30	2,68	**Multipares**	3,6		239	2,20	33,0	34,5	2,19	57,3	2,40	2,74

PLact : pleine lactation ; FLact : fin lactation ; Num-Lact : numé de lactation ; PLBi ; production laitière brute initiale ; TBi : taux butyreux intitial ; TPi : taux protéique initial ;
PLSi : production laitière standard à 3.5% initiale ; PVi : poids vif initial ; NECLombi et NECSterni : notes d'état corporel initiales estimées au niveau lombaire et sternale.

Tableau 7.2 Caractéristiques de l'herbe offerte et du concentré

Variable	Prairie		Concentré
	PLact	FLact	
Biomasse (kg MS/ha) [1]	2336	2404	
Quantité d'herbe offerte (kg MS/chèvre/j)	3,7	3,8	
Hauteur entrée herbomètre (cm)	15,9	15,4	
Hauteur sortie herbomètre (cm)	6,2	6,9	
Composition chimique			
MS (g/kg MB)	245	240	916
MO (g/kg MS)	903	910	980
MAT (g/kg MS)	170	153	130
NDF (g/kg MS)	423	434	102
ADF (g/kg MS)	255	260	39
ADL (g/kg MS)	43	41	6
Valeur nutritive			
Digestibilité MO [2]	0,705	0,699	
PDIN (g/kg MS)[3]	109	97	102
PDIE (g/kg MS)[3]	90	87	100
UFL (/kg MS)[4]	0,84	0,84	1,24

[1] Biomasse calculée à 4 cm au-dessus du ras du sol.
[2] Calculée à partir de la digestibilité pepsine-cellulase (Aufrère et Michalet-Doreau, 1988)
[3] Protéines digestibles dans l'intestin lorsque l'azote (PDIN) ou l'énergie (PDIE) sont limitants (INRA, 2010).
[4] UFL = Unité Fourragère Lait (1 UFL = 7,12 MJ d'Energie Nette ; INRA, 2010)

3. Résultats

En raison du refus de concentré et/ou de concentré Ytterbium, les données de 4 chèvres du lot FLact ont été retirées des résultats. En raison d'un dysfonctionnement de 5 appareils lifecorder, les données comportementales de 5 chèvres (2 du lot FLact et 3 du lot PLact) n'ont pas été enregistrées.

3.1. Caractéristiques de la prairie avant et après pâturage

Les caractéristiques de l'herbe offerte ont été similaires entre traitements. La composition botanique de l'herbe offerte a été de 50 % de légumineuses (23 % de Trèfle violet, 21 % de Luzerne et 6 % de Trèfle blanc), de 30 % de plantain lancéolé et d'environ 20 % de graminées (Brôme sitchensis et Fétuque élevée). Avant pâturage, la biomasse et la hauteur herbomètre étaient de 2370 kg MS/ha et 15,7 cm, respectivement (**Tableau 7.2**). L'herbe était de bonne qualité avec une teneur en MAT, en NDF et une digestibilité de la MO de 162 g/kg MS, 428 g/kg MS et 0,701 respectivement. En moyenne, la quantité d'herbe offerte a été de 3,8 kg MS/chèvre/j, et la hauteur herbomètre après pâturage de 6,5 cm.

3.2 Digestibilité du régime et ingestion

La dMO du régime ingéré a été similaire entre les deux stades de lactation (0,797) et a été en moyenne plus faible de 0,01 g/g chez les primipares que chez les multipares (P< 0,001) (**Tableau 7.3**). La quantité d'herbe ingérée a été en moyenne de 1,80 kg MS/chèvre/j, pour une quantité ingérée totale de 2,37 kg MS/chèvre/j. La quantité d'herbe ingérée n'a pas varié significativement entre les stades de lactation (P> 0,05). Nous n'avons pas mis en évidence d'interaction significative entre le stade de lactation et la parité (P > 0,1) probablement en raison de la forte variabilité de l'ingestion sur les multipares du lot PLact (**Figure 7.2**). Si on compare l'ingestion totale en pourcentage du poids vif, les chèvres PLact ingèrent plus que les chèvres FLact (5,0 % vs 4,1 %). Les primipares ont ingéré en moyenne 600 g MS/j de moins que les multipares (P<0,001). Pour l'ingestion totale en proportion du poids vif, il n'y a pas de différence entre les primipares et multipares (P >0,05).

3.3 Production laitière, composition du lait, poids vif et NEC

La production laitière a été en moyenne de 2,36 kg/j, sans effet du stade de lactation ni de la parité (P>0.05) (Tableau 7.3). En revanche, l'interaction entre la parité et le stade de lactation a été significative sur la production laitière (P<0,05). Dans le lot PLact, les multipares ont produit 730 g/j de lait en plus que les primipares, alors que dans le lot FLact, les multipares ont produit 200 g/j de lait en moins que les primipares. L'interaction entre le stade de lactation et la parité a également été significative pour la production laitière standardisé à 3,5 % (P<0,01). Les chèvres en FLact présentaient des taux plus élevés de 3,6 g/kg et 3,1 g/kg pour le taux butyreux

et le taux protéique, respectivement, par rapport aux chèvres PLact (Tableau 7.3). Les chèvres du lot FLact avaient une NEC plus élevée que celles du lot PLact (P>0,05).

Tableau 7.3 Ingestion, production laitière, poids vif, note d'état corporel et comportement alimentaire des chèvres au pâturage en fonction du stade de lactation et de la parité.

Variable	Plact		FLact					
	Primi n=9	Multi n=23	Primi n=8	Multi n=20	Syx	Effet Lot	Effet Parité	Effet Lot×Parité
dMO ration (g/g)	0,802	0,791	0,803	0,792	0,0087	NS	***	NS
Ingestion d'herbe (g MS/j)	1334	2143	1380	1773	561,0	NS	***	NS
Ingestion totale (g MS/j)	1908	2717	1954	2350	560,4	NS	***	NS
Ingestion totale (% poids vif)	4,97	4,97	4,23	3,99	1,04	**	NS	NS
Production laitière (kg/j)	2,10	2,83	2,35	2,15	0,629	NS	NS	*
Taux butyreux (g/kg lait)	31,0	31,4	35,7	34,0	4,55	**	NS	NS
Taux protéique (g/kg lait)	30,0	30,8	33,7	33,3	2,62	**	NS	NS
Production laitière 3,5% (kg/j)	1,97	2,67	2,38	2,14	0,576	NS	NS	**
Poids vif (kg)	38,6	54,8	47,2	60,3	7,99	**	***	NS
NEC lombaire	2,3	2,3	2,5	2,4	0,16	***	NS	NS
NEC sternale	2,7	2,7	2,8	2,8	0,22	*	NS	NS
Durée d'ingestion (min/j)	379	379	347	304	44,9	***	NS	NS
Temps passé à pâturer (% TA) [1]	57	57	55	48	6,9	**	NS	0,095
Nombre de repas (/j)	9,3	7,9	8,9	8,7	1,45	NS	NS	NS
Durée 1er repas (min)	74	97	62	50	18,7	***	NS	**
Vitesse d'ingestion (g MS/h)	215	348	234	349	79,1	NS	***	NS

[1] Temps passé à pâturer exprimé en % du temps d'accès

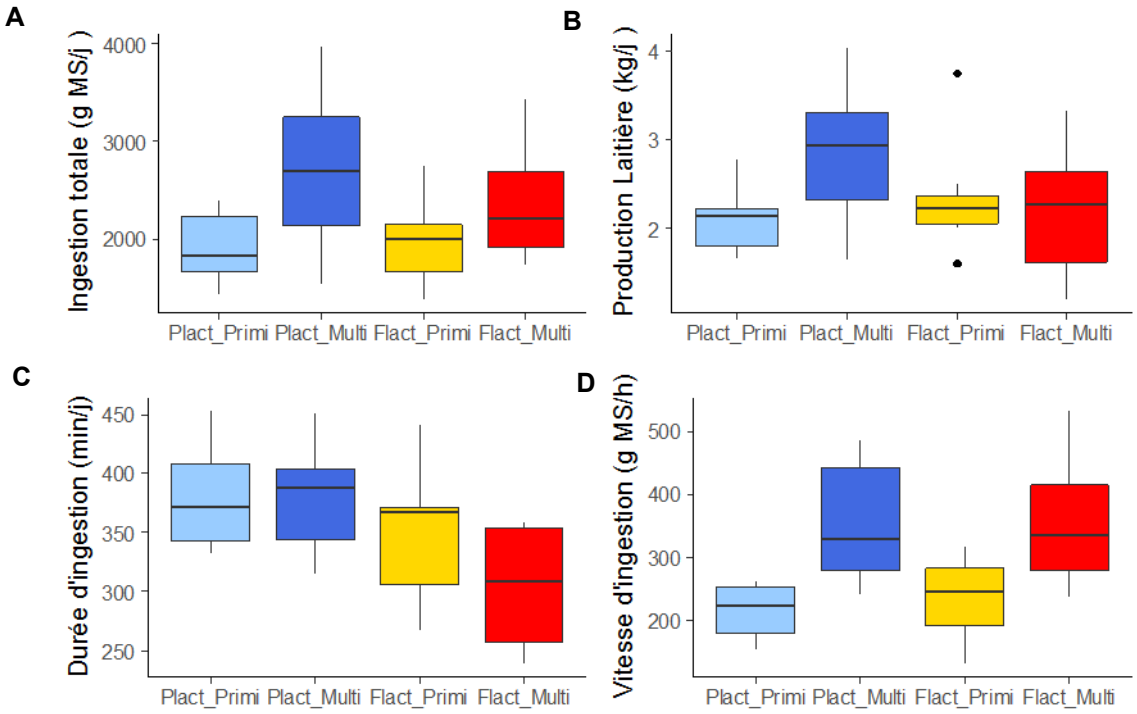

Figure 7.2 Représentation de la variabilité interindividuelle en fonction du stade de lactation et de la parité pour l'ingestion totale (A), la production laitière (B), la durée d'ingestion (C) et la vitesse d'ingestion (D).

3.4 Comportement alimentaire

La durée d'ingestion a été plus élevée de 53 min/j pour les chèvres PLact que pour les chèvres FLact (P<0,001). Il n'y a pas eu de différence de durée d'ingestion entre les primipares et les multipares (P>0,05). La variabilité de la durée d'ingestion a été très élevée sur les primipares FLact (**Figure 7.2**). Le nombre

de repas par jour a été en moyenne de 8,7, sans différence entre stades de lactation ni entre primipares et multipares (P>0,05). La durée du premier repas a été plus élevée de 30 min pour les chèvres PLact que pour les chèvres FLact (86 min *vs* 56 min). L'interaction entre le stade de lactation et la parité a été significative sur la durée du 1er repas. Les primipares ont eu une durée de 1er repas plus élevée que les multipares dans le lot FLact, et plus faible que les multipares dans le lot PLact (P<0,01). La vitesse d'ingestion d'herbe moyenne a été de 287 g MS/h, et similaire entre les deux stades de lactation (P>0,05). Elle a été nettement plus faible chez les primipares que chez les multipares (224 *vs* 349 g MS/h) (P<0,001).

4. Discussion

4.1 Prévision de l'ingestion totale en fonction des caractéristiques individuelles

Pour expliquer les variations interindividuelles de l'ingestion des chèvres au pâturage en fonction de leurs caractéristiques individuelles, nous avons utilisé les données par chèvre avec une valeur moyenne sur la période de mesure pour chaque variable. Sur cette base, des régressions linéaires multiples ou des analyses de covariance ont été effectuées avec comme facteurs possibles le stade de lactation, à 2 modalités (PLact et FLact), et la parité, à 2 modalités également (primipares et multipares). Les variables explicatives testées ont été la production laitière brute initiale (PLB_i), la production laitière standard à 3,5% initiale (PLS_i), le poids vif initial (PV_i), la NEC sternale ($Stern_i$) et la NEC lombaire ($Lomb_i$) initiales. Les interactions de pente entre les facteurs et les variables ont été testées.

Plusieurs régressions ont été effectuées. Les plus précises sont les suivantes (n=60) :

Eq.1 $QI = 221 + 15{,}1 \times \mathbf{PV_i} + 540 \times \mathbf{PLS_i}$
$R^2 = 0{,}53$; ETR = 442 g MS/j

Eq.2 $QI = 254 + 13{,}8 \times \mathbf{PV_i} + 543 \times \mathbf{PLB_i}$
$R^2 = 0{,}55$; ETR = 431 g MS/j

avec QI, la MS ingérée totale en g MS/j ; PV_i le poids vif initial en kg ; PLB_i la production laitière brute initiale en kg/j ; PLS_i la production laitière standard à 3,5 % en kg/j.

Les équations les plus précises (R^2 les plus élevés et ETR les plus faibles) sont donc celles associant la production laitière (brute ou standard) et le poids vif. Ces résultats sont cohérents avec ceux de la littérature concernant la relation entre l'ingestion totale à l'auge et les caractéristiques individuelles des chèvres laitières (AFRC, 1998 ; Avondo et al., 2008 ; Luo et al., 2004; INRA, 2010 ; Sauvant et al., 2012). L'utilisation dans la régression de la production laitière standard 3,5 % au lieu de la production laitière brute réduit légèrement la précision de la régression.

Ainsi, à partir des Eq. 1 et 2, une variation de 10 kg de poids vif entraîne une variation dans le même sens de l'ingestion de 151 et 138 g MS/j, respectivement. Ces variations sont dans la gamme 95 à 160 g MS/j précédemment observée à l'auge dans le **Chap. 2 « Synthèse bibliographique »** (AFRC, 1998 ; Avondo et al., 2008 ; Luo et al., 2004 ; INRA, 2010 ; Sauvant et al., 2012).

D'après les Eq. 1 et 2, une augmentation de production laitière (brute ou standard) de 1,0 kg entraîne une variation dans le même sens de l'ingestion totale de 540-543 g MS/j. Cette pente est supérieure à toutes les variations d'ingestion liées à la production laitière connues dans la littérature, dont les pentes qui se situent entre 168 g et 420 g MS/j d'ingestion en plus par kg de lait produit en plus (AFRC, 1998 ; Avondo et al., 2008 ; Luo et al., 2004 ; INRA, 2010 ; Sauvant et al., 2012). Ceci peut éventuellement s'expliquer par un nombre plus important de variables prises en compte dans ces modèles, comme la proportion de fourrage (AFRC, 1998), l'énergie métabolisable de la ration (Luo et al., 2004), la quantité de concentré (INRA, 2010) ou la quantité de MAT apportée par le concentré (Avondo et al., 2008), qui ont aussi une influence sur la production laitière. Plus le nombre de variables explicatives dans la régression est faible, plus il y a des risques de confusion partielle entre l'effet d'une variable intégrée au modèle et les effets d'autres variables non prises en compte dans le modèle.

L'absence d'effet de la parité et du stade de lactation est également cohérente avec les modèles de prévision de la littérature, dans lesquels ces facteurs ne sont pas significatifs chez les caprins (AFRC, 1998 ; Avondo et al., 2008 ; Luo et al., 2004; INRA, 2010 ; Sauvant et al., 2012), contrairement au cas des vaches laitières, où la distinction primipares et multipares est présente dans le calcul de la capacité d'ingestion (INRA,2010). De même, contrairement aux vaches et brebis laitières (INRA, 2010), la NEC n'a pas eu d'effet significatif sur l'ingestion totale dans cette étude, probablement du fait de la faible variabilité des NEC enregistrées.

4.2. Relation entre comportement alimentaire et ingestion d'herbe

L'ingestion d'herbe peut également être liée aux caractéristiques individuelles de comportement alimentaire. Nous avons observé une relation interindividuelle positive entre l'ingestion totale et la durée d'ingestion (**Figure 7.3 A**). A même ingestion totale, les multipares semblent avoir une durée d'ingestion plus faible (**Figure 7.3 A**). Cela peut être lié au format des animaux car, les multipares étant plus grandes, elles ont également une mâchoire plus développée leur permettant des bouchées plus grosses et donc une vitesse d'ingestion plus importante comme constaté dans le **Tableau 7.3** et chez les vaches laitières (Delagarde, 1997).

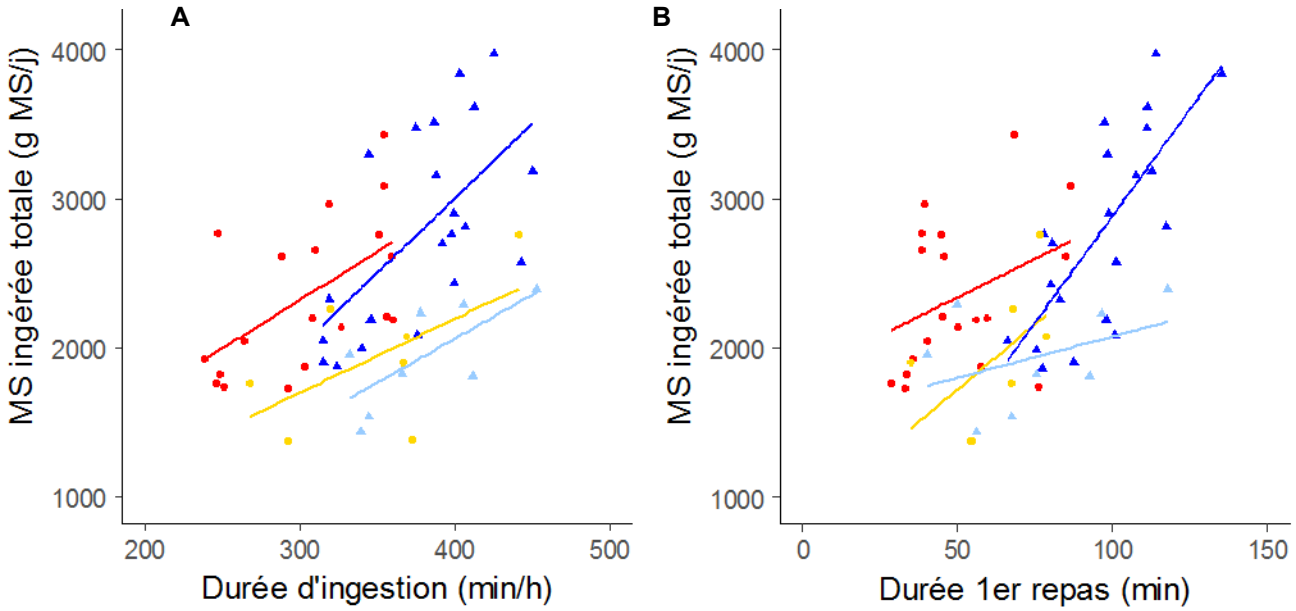

Figure 7.3 Relation entre la MS ingérée totale (QI, g MS/j) et **(A)** la durée d'ingestion (min/j), **(B)** la durée du 1er repas (min.), en fonction du stade de lactation et de la parité (Primi_PLact ; Multi_PLact ; Primi_FLact ; Multi_Flact).

Il existe également une relation positive entre la durée du 1er repas et l'ingestion totale (**Figure 7.3 B**). En effet, il semblerait que plus la durée du 1er repas est élevée, plus l'ingestion totale l'est également. Ce 1er repas représente en moyenne 20 % de la durée d'ingestion totale. A même ingestion totale, la durée du 1er repas est plus longue chez les chèvres en PLact, ceci pouvant être dû au fait qu'elles sont plus affamées que les FLact du fait de leurs besoins et de l'absence de consommation la nuit et sont donc plus motivées. On peut aussi imaginer que le rumen est plus développé chez les PLact et donc qu'elles mettent plus de temps à le remplir.

5. Conclusion

Cet essai a permis de disposer de données relatives à l'ingestion d'herbe sur deux troupeaux de chèvres au pâturage simultanément, avec des stades de lactation très différents. Il a également permis de montrer que, même si la parité a un effet global sur l'ingestion d'herbe et l'ingestion totale, celui-ci est très bien prédit au travers de la production laitière et du poids vif, ces deux variables expliquant à elles seules la plus faible ingestion des primipares que des multipares. Il serait néanmoins intéressant de reconduire cet essai avec un plus grand nombre de primipares, et en intégrant la NEC dans la sélection des animaux pour en augmenter la variabilité et réétudier son effet sur l'ingestion.

Pour confirmer et donner plus de robustesse à notre modèle, grâce à un plus grand jeu de données, la compilation de cet essai avec les autres essais de la thèse et le test de nouvelles régressions entre l'ingestion totale et la production laitière seront présentés et discutés au Chapitre 8. III.

Chapitre 8 : Discussion générale

Introduction

Les chapitres précédents ont permis de compléter ou d'apporter des données nouvelles sur l'effet de la gestion du pâturage sur l'ingestion et les performances des chèvres laitières. Ils ont également permis de montrer la forte capacité d'adaptation des chèvres aux variations de temps d'accès et notamment une faible différence d'ingestion et aucune différence de production laitière entre les chèvres ayant accès au pâturage entre les deux traites et celles ayant une sortie supplémentaire le soir (**Chapitre 5**). L'ajout d'un complément de luzerne déshydraté le soir a permis d'augmenter assez fortement la production laitière malgré la substitution herbe/luzerne déshydratée (**Chapitre 5**). Réduire la quantité d'herbe offerte jusqu'à un seuil d'environ 2,5 kg de MS/chèvre/jour n'a pas pénalisé l'ingestion et la production laitière, permettant de mieux valoriser l'herbe sans perte de performances individuelles (**Chapitre 6**). Dans le **Chapitre 7**, nous avons confirmé que la production laitière et le poids vif des chèvres étaient les principales caractéristiques individuelles déterminant l'ingestion volontaire des chèvres laitière au pâturage.

Ce chapitre a pour objectifs de discuter l'ensemble des résultats présentés dans les chapitres précédents mais également de développer, quand cela est possible, les premiers modèles de prévision de l'ingestion des chèvres au pâturage en fonction des modalités de gestion du pâturage. Ce chapitre sera décomposé en 4 parties. La première discutera la fiabilité des méthodes et outils utilisés pour l'estimation de l'ingestion au pâturage et l'enregistrement du comportement alimentaire. Les trois autres établiront les lois de réponses générales au temps d'accès, à la quantité d'herbe offerte et aux caractéristiques individuelles des chèvres laitières au pâturage, respectivement.

I. L'utilisation de méthodes validées et précises

Dans l'ensemble les essais au pâturage ont été effectués dans de bonnes conditions méthodologiques. Les méthodes utilisées et validées en parallèle des essais au pâturage se sont révélées précises et fiables.

L'absence de méthodes validées chez les chèvres laitières, que ce soit pour mesurer l'ingestion au pâturage ou pour enregistrer le comportement, a nécessité d'effectuer des essais de calibration et de validation des méthodes, comme l'enregistrement du

comportement par le Lifecorder Plus et l'estimation de l'ingestion par la méthode Yb/index fécaux, toutes deux validées et utilisées régulièrement chez les vaches laitières (Delagarde et al., 2010 ; Pérez-Ramírez et al., 2012 ; Delagarde et Lamberton, 2015).

I.1 Estimation de l'ingestion

La méthodologie et les résultats détaillés des essais de calibration et de validation des méthodes d'estimation de l'ingestion pour des rations à base d'herbe est disponible dans l'**Annexe 1**.

I.1.1 Prévision de la digestibilité in vivo

L'équation proposée (Eq. 5) permet de prévoir avec une précision satisfaisante (ETR = 0,017) la dMO de régimes à base d'herbe, qui est applicable à une large variété de situations de pâturage (pression de pâturage, âge de repousse, complémentation variable en concentrés et en luzerne déshydratée).

La première régression multiple entre la dMO et les indicateurs fécaux et du régime obtenue avec les régimes 'herbe + concentrés' a été la suivante :

Eq. 4 $dMO = 0{,}939 - 2{,}44/MAT_F - 0{,}0445 \times MAT_R/MAT_F$ n = 23, ETR = 0,012, $R^2 = 0{,}69$

Avec MAT_R et MAT_F en g/100 g OM.

Cette équation est dotée d'une bonne précision (ETR = 0,012), similaire aux études précédentes réalisées en vaches laitières (Peyraud, 1998). Cette Eq. 4 n'étant pas adaptée dans le cas d'une distribution de luzerne déshydratée, nous avons obtenu l'Eq. 5 qui a été appliquée dans tous les essais de la thèse pour garder une homogénéité dans les calculs :

Eq. 5 $dMO = 0{,}922 + (-0.0194 + \Delta)/ MAT_F - 0{,}445 \times (ADF_F)^2$ n = 41, ETR = 0,017, $R^2 = 0{,}82$

Où $\Delta = -0{,}00192$ dans le cas d'une ration avec apport de luzerne déshydratée ; $\Delta = +0{,}00192$ dans le cas d'une ration sans apport de luzerne déshydratée ; MAT_R et ADF_F en g/g OM.

L'écart-type résiduel de cette équation reste relativement faible (ETR = 0,017) et proche de ceux rencontrés dans les équations de prévision de la digestibilité chez les bovins (Peyraud, 1998). L'utilisation de la teneur en MAT et en ADF des fèces est également en cohérence avec les précédentes études en bovins (Peyraud, 1998 ; Ribeiro Filho et al., 2005). Au contraire, en chèvres à viande (Boval et al., 2003), la teneur en ADF des fèces n'a pas permis d'expliquer les variations de digestibilité, peut-être en raison d'une faible variabilité de la teneur fécale en ADF. Du fait de l'effet non significatif des facteurs apport de

concentrés, niveau alimentaire et âge de l'herbe, testés dans ces régressions, l'équation de prévision semble assez générique pour être utilisée avec des doses de concentré et des pressions de pâturage diverses, en présence ou en l'absence de luzerne déshydratée.

I.1.2 Précision de la méthode Ytterbium/index fécaux

La précision de la méthode ytterbium/index fécaux dépend à la fois de la capacité de l'ytterbium à bien prévoir l'excrétion fécale et de la précision de l'équation de prévision de la dMO à partir des index fécaux. A partir de tous les essais réalisés, dans des conditions d'alimentation très variables des chèvres, nous avons trouvé que le taux de récupération de l'Yb était total, avec une faible variabilité, et que l'équation de prévision de la dMO était précise dans une large gamme de digestibilité de l'herbe et de complémentation. La méthode Yb/index fécaux est donc précise pour l'estimation de la variation de l'ingestion des chèvres laitières pâturant des prairies multi-spécifiques avec ou sans complémentation en concentré.

La capacité de la méthode Yb/index fécaux à prévoir de façon précise l'excrétion fécale, la digestibilité du régime, l'ingestion d'herbe (foin ou herbe fraîche) et l'ingestion totale, a été estimée sur la base des essais dont le régime était 'Fourrage (herbe ou foin) + concentré' (n = 72 données chèvre × période), grâce au calcul de l'Erreur Moyenne de Prévision (**EMP**) et sa décomposition en trois composantes : biais sur la moyenne, biais sur la pente, et erreur inexpliquée (Bibby et Toutenburg, 1977).

La régression entre l'estimation et la mesure de l'ingestion de fourrage et de ses composantes (excrétion fécale et digestibilité du régime) montre de fortes corrélations (R^2 entre 0,88 et 0,96) et de faibles erreurs de prédiction moyennes (EMPr entre 0,02 et 0,07). L'erreur dans l'estimation de l'ingestion provient des deux parties de l'équation (MO excrétée et 1/(1-dMO) en proportion égale. Quelle que soit la variable considérée, l'erreur provient essentiellement d'une erreur aléatoire (entre 83 % et 100 %). Le taux de récupération de l'Yb a été en moyenne de 1,01 ± 0,069, entraînant l'absence de biais sur la moyenne et une faible variabilité de l'estimation de l'excrétion fécale, comme cela a préalablement été observé chez les vaches laitières (Delagarde et al., 2010). La variabilité du taux de récupération de l'Yb (CV = 7 %) est similaire à celle observée en vaches laitières (Pérez-Ramírez et al., 2012).

Cette approche par calcul de l'EMPr reste à faire pour les essais avec distribution de luzerne déshydratée, et devrait conclure à une précision légèrement moins bonne, l'équation de prévision de la dMO étant un peu moins précise.

I.2 Enregistrement du comportement alimentaire

La validation du Lifecorder Plus sur 69 séquences d'observation soit environ 173 h, a permis de mettre en évidence sa bonne précision et sa bonne sensibilité à enregistrer les activités de pâturage des chèvres.

A l'échelle de l'heure, la corrélation entre la durée d'ingestion prévue (52,0 min/h) et observée (50,1 min/h) a été élevée (R^2 = 0,87), avec une erreur moyenne de prévision réduite (EMPr) de 11 % soit 5,4 min/h. La précédente validation de l'appareil sur vaches laitières montrait, à l'échelle de l'heure, une EMPr similaire de 12 % (Delagarde et Lamberton, 2015). Chez les chèvres laitières il n'y a pas eu de biais sur la pente, une légère surestimation de la durée d'ingestion (12 % de biais sur la moyenne) et une majorité de l'erreur inexpliquée (88 %). La légère surestimation de 4 % de la durée d'ingestion par le Lifecorder chez les chèvres n'a pas été observé chez les vaches (biais moyen = + 1 %; Delagarde et Lamberton, 2015). Cela pourrait provenir du comportement beaucoup plus actif de la chèvre que de la vache, et du fait qu'une partie des activités non alimentaires induisant des mouvements et accélérations de la tête, comme des longs déplacements et des interactions sociales, soit comptabilisée en activité d'ingestion. Ce biais reste toutefois minime et totalement indépendant de la durée d'activité comme en témoigne l'absence de biais lié à la pente, ce qui permet d'affirmer que ce biais ne perturbera pas les comparaisons entre traitements.

Le Lifecorder a également montré une forte sensibilité (98 %) et une bonne précision globale (96 %), ce qui montre que les activités d'ingestion sont toujours bien détectées. Ces résultats sont aussi satisfaisants ou plus satisfaisants que ceux des études effectuées sur d'autres appareils utilisés en bovins (Nielsen, 2013 ; Vazquez Diosdado et al., 2015 ; Wolger et al., 2015). La plus faible spécificité (76 %) indique que des activités autres que de l'ingestion peuvent être détectées et sont interprétées comme de l'ingestion, expliquant la surestimation de 4 % de la durée d'ingestion par le Lifecorder. Des études plus fines du comportement des chèvres au pâturage, et notamment l'enregistrement des déplacements

(pose de GPS embarqué, pose de Lifecorder sur une patte) et activités sociales devraient permettre de mieux interpréter et expliquer ce léger biais.

II. Effet du temps d'accès et de la complémentation

L'objectif des 3 essais réalisés sur le temps d'accès journalier (TA) au pâturage a été de quantifier l'effet d'une réduction du TA et de l'apport d'un complément en luzerne déshydratée dans le cas de TA restreints, sur l'ingestion, la production laitière et l'adaptation comportementale des chèvres laitières au pâturage.

II.1 Apport des essais et cohérence avec la littérature

Les essais de la thèse ont permis d'augmenter considérablement les connaissances sur l'effet de la variation du temps d'accès chez les chèvres laitières au pâturage, les travaux antérieurs de Keli et al. (2017) étant les seuls disponibles jusqu'à cette thèse chez les chèvres laitières, les rares autres études étant réalisées en chèvres adultes de race à viande (Romney et al., 1996 ; Tovar-Luna et al., 2011) ou en croissance (Berhan et al., 2005). Nos essais ont également permis de compléter les données dans la gamme de variation comprise entre 4 et 12 h d'accès par jour, gamme pratiquée dans les élevages laitiers et dans laquelle la restriction de temps d'accès semble avoir le plus d'effet.

L'ajout de nos données à celles de la littérature a permis de confirmer que l'ingestion d'herbe diminue lorsque le temps d'accès est restreint **(Figure 8.1 a).** L'ingestion totale suit la variation de l'ingestion d'herbe pour les chèvres à viande qui sont le plus souvent non complémentées (Romney et al., 1996 ; Berhan et al., 2005 ; Tovar-Luna et al., 2011) alors que l'ingestion totale pour les chèvres laitières qui sont toutes complémentées varient peu avec le temps d'accès même lorsque celui-ci est restreint en dessous de 11 h/j (Keli et al., 2017 ; Essai 2TA et 3TA) (**Figure 8.1 b**). Ceci suggère que les chèvres seraient d'autant moins sensibles au temps d'accès qu'elles sont complémentées, comme cela a été montré sur vache laitières (Delaby et al., 2009).

Il semble que la production laitière des chèvres soit faiblement impactée par la réduction du temps d'accès jusqu'à 6 h/j (**Figure 8.1 c**) et qu'elle suive le plus souvent les variations d'ingestion totale, ce qui est cohérent avec la réponse laitière à l'énergie ingérée

(Sauvant et al., 2012). Il est toutefois à noter que la baisse de production laitière semble souvent relativement plus faible que celle de l'ingestion (**Figure 8.1 b et c**). Dans les cas où la réduction de l'ingestion suite à une restriction du temps d'accès ne se traduit pas par une réduction de production laitière, nous pouvons faire l'hypothèse d'une réduction des dépenses énergétiques d'entretien liées à la réduction forte de la durée d'ingestion et à une durée de repos plus importante, notamment lorsque les animaux ne sont pas sortis après la traite du soir. Dans l'état actuel des connaissances, il semble difficile de conclure clairement sur la valeur du seuil de temps d'accès au-delà duquel l'ingestion et la production laitière ne seraient pas affectés, justement parce que ce seuil semble légèrement plus bas pour l'ingestion que pour la production laitière.

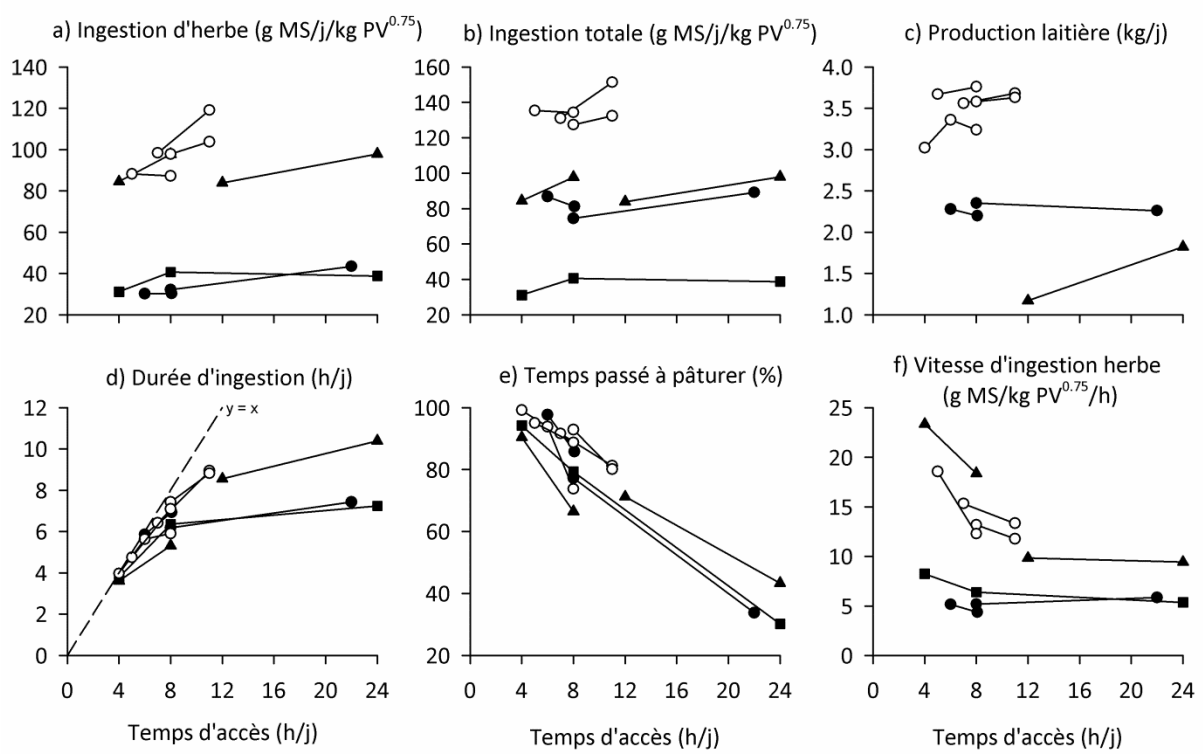

Figure 8.1 Effet du temps d'accès au pâturage sur l'ingestion, la production laitière et le comportement alimentaire des chèvres au pâturage (○, chèvres laitières essais 1TA, 2TA et 3TA ; ●chèvres laitières, Keli et al., 2017) ; ▲chèvres à viande adultes ,Romney et al., 1996 ; Tovar-Luna et al., 2011 ; ■ chèvres à viande en croissance, Berhan et al., 2005.

L'étude du comportement alimentaire des chèvres vient également confirmer l'importante baisse de la durée d'ingestion suite à une réduction du temps d'accès en dessous de 12 h/j, avec une concentration de l'activité d'ingestion jusqu'à plus de 80 % du temps d'accès lorsque celui-ci est inférieur à 8 h/j (**Figure 8.1 d et e**). De plus, en dessous de 8 h/j d'accès, les chèvres compensent en partie la baisse de durée d'ingestion liée à la baisse

du temps d'accès par une augmentation de la vitesse d'ingestion (**Figure 8.1 f**). Il semble donc y avoir un point d'inflexion autour de 8h/j d'accès, avec une amplification des mécanismes d'adaptation comportementale en deçà de ce seuil (concentration des activités et augmentation de la vitesse d'ingestion). Ce résultat semble logique lorsque l'on sait que la durée d'ingestion est proche de 8 h/j sans contrainte de temps, des durées d'accès au pâturage plus courtes nécessitant alors une adaptation du comportement des animaux.

Ces mécanismes d'adaptation comportementale à une restriction du temps d'accès au pâturage sont très proches de ceux déjà décrits chez les vaches laitières au pâturage (Delagarde et al., 2008) (**Figure 8.2**).

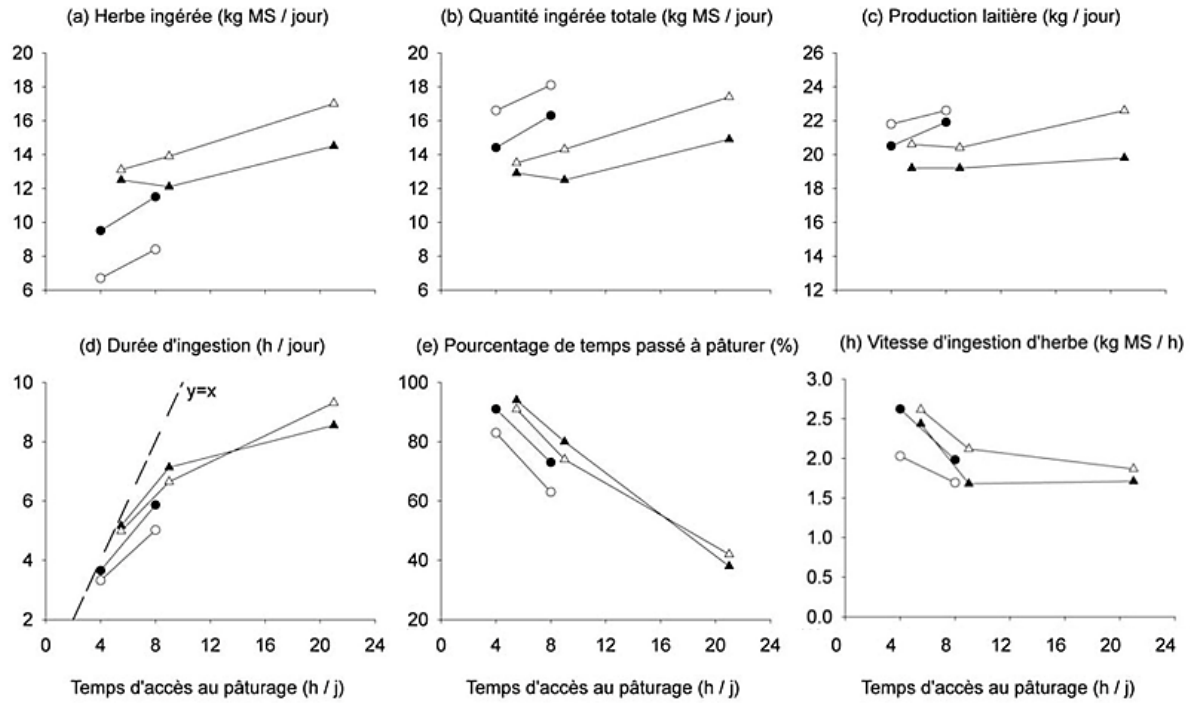

Figure 8.2 Effet du temps d'accès journalier au pâturage sur la production laitière, l'ingestion et le comportement alimentaire des vaches laitières (Essai 1 : ▲ et Δ, 13 et 24 kg MS offerts ; Essai 2 : ● et ○, 5 et 10 kg MS de complément ensilage maïs/soja) (adapté de Delagarde et al., 2008).

Chez les vaches, lors d'une restriction du temps d'accès au pâturage, on retrouve la réduction de l'ingestion d'herbe, et la variation de production laitière plus faible que la variation de l'ingestion totale, ainsi que le point d'inflexion autour des 8 h/j d'accès au pâturage sur la concentration des activités d'ingestion et l'augmentation de la vitesse d'ingestion ont déjà été observés (Delagarde et al., 2008). La capacité des vaches à augmenter la proportion du temps passé à pâturer semble cependant plus faible (autour des 90 % maximum, contre quasi 100 % pour les chèvres) car les vaches semblent toujours

montrer une « fatigue » et un arrêt partiel de l'activité de pâturage après 3-4 h de pâturage (Pérez-Prieto et al., 2011; Pérez-Ramirez et al., 2009), alors que les chèvres laitières n'ont, dans nos essais, jamais montré de fatigue en cours de journée, et notamment pas d'arrêt généralisé du pâturage en milieu de journée.

Pour ce qui est de la réponse à l'apport de luzerne déshydratée sur les temps d'accès court, la comparaison des deux apports de déshydraté à même temps d'accès (2 essais séparés) ont mis en évidence une forte réponse en terme de production laitière à l'ajout de 400 g de luzerne déshydraté avec 7 ou 8 h/j d'accès (0,67 kg lait/ kg MS déshydraté) et un taux de substitution entre l'herbe et le déshydraté de 0,61. Nous avons également constaté que réduire la complémentation augmentait la motivation des animaux à pâturer, avec une augmentation de la vitesse d'ingestion et une proportion du temps passé à pâturer. Nous n'avons cependant pas vraiment étudié l'interaction entre le temps d'accès et la complémentation. Autrement dit, on ne sait pas si augmenter la complémentation permet aux chèvres de mieux supporter des temps d'accès courts. Cela aurait impliqué d'avoir deux TA sans complémentation, et les mêmes TA avec complémentation, dans le même essai. ans un souci de modélisation il sera essentiel de connaître et de tenir compte de cette éventuelle interaction comme cela est le cas chez les vaches laitières (Delagarde et al., 2010).

En résumé, les chèvres ont montré une bonne adaptation comportementale à une restriction du temps d'accès, avec des mécanismes d'adaptation identiques à ceux déjà observés chez les vaches, mais avec peut-être encore plus de capacité adaptative. Ceci a conduit à une relative faible influence du temps d'accès sur l'ingestion et la production laitière des chèvres jusqu'à 6 h/j d'accès au pâturage, ce qui peut être en partie attribué aux très bonnes conditions de pâturage : herbe assez haute, très préhensible et de très bonne valeur alimentaire (études réalisées en avril sur des couverts uniquement feuillus). La capacité des chèvres à s'adapter à des temps d'accès aussi courts devra être étudiée dans des conditions moins favorables en termes de hauteur ou de qualité d'herbe et de complémentation.

II.2 Modélisation de la réponse des chèvres au temps d'accès

Le nombre de données à présent disponibles et la complémentarité des résultats des essais de cette thèse avec ceux de la littérature (Romney et al., 1996 ; Berhan et al., 2005 ; Keli et al., 2017 ; Tovar-Luna et al., 2011) rendent possible une première approche par modélisation des réponses des chèvres aux variations de temps d'accès.

II.2.1 Constitution de la base de données

Nous avons constitué une base de données sous tableur à partir des moyennes par traitement et par essai pour chacun des essais disponibles, dont les 3 essais de la thèse et les 4 essais issus de la littérature, avec 2 à 4 traitements par essai. Au total, la base de données est constituée de 20 données (20 lignes) correspondant à 9 séries **(Figure 8.1)**. Un numéro de série correspond à une comparaison de 2 ou plus temps d'accès, toutes choses égales par ailleurs. Un essai peut donc comporter 2 séries. Cela a été le cas pour notre essai 3TA, la série 1 comparant TA8 et TA11 (sans luzerne déshydratée) et la seconde TA5D et TA8D (avec luzerne déshydratée). Le numéro d'essai, le numéro de série (SérieTA), le TA puis les variables mesurées ont été renseignées en colonnes dans la base de données. Les principales variables sont en particulier : l'ingestion d'herbe (recalculée en g MS/j/kg $PV^{0,75}$), l'ingestion totale (en g MS/j/kg $PV^{0,75}$), la production laitière (kg/j), la durée d'ingestion (min/j), le pourcentage de temps passé à pâturer (% du TA) et la vitesse d'ingestion (g MS/h/kg $PV^{0,75}$).

L'ingestion et la vitesse d'ingestion ont été exprimées par kg de poids métabolique ($PV^{0,75}$) pour tenir compte des différentes races, stades physiologiques et âge des animaux, très variables dans la base de données.

Des relations ont ensuite été établies sur les données corrigées de l'effet série, afin de déterminer les effets du temps d'accès intra-essai, c'est-à-dire toutes choses égales par ailleurs. Pour cela, chaque variable d'intérêt a été analysée grâce à une analyse de covariance à 1 facteur (série) et deux co-variables (TA et TA^2), afin de ne pas « linéariser » les relations.

Une fois les données corrigées de l'effet série, nous avons calculé, pour chaque donnée de la base, la valeur d'ingestion exprimée en proportion de l'ingestion moyenne observée sans restriction de temps d'accès, c'est-à-dire 22 et 24 h/j pour cette base. En effet, nous faisons l'hypothèse qu'avec les temps d'accès non limitants, les chèvres atteignent 100 % de la quantité de MS ingérée totale (**QI_V**), permettant ainsi d'exprimer les

ingestions observées en relatif à la QI_V, comme dans le modèle prévisionnel établi sur les vaches laitières (Delagarde et al., 2011). Les données corrigées sont représentées sur la **Figure 8.3**. Ceci permet ensuite d'intégrer ce type d'équation dans le modèle prévisionnel de l'ingestion des chèvres laitières établi à l'auge, comme cela a pu être fait en vaches laitières (Delagarde et al., 2011).

II.2.2 Choix des types d'équations et des contraintes

Le choix des équations adaptées à chaque variable a été fait d'après la représentation graphique des données corrigées de l'effet série et les modèles de courbes proposés par le logiciel Sigma Plot (Systat Software, V10.0).

D'après l'allure des données et les connaissances sur l'effet du temps d'accès sur l'ingestion des vaches laitières (Delagarde et al., 2011), et la durée d'ingestion, nous avons opté pour une équation de type exponentielle : $y = y_0 + a \times (1 - \exp^{(-b \times TA)})$.

Pour ces 3 variables (ingestion d'herbe, ingestion totale et durée d'ingestion), nous avons décidé de fixer l'origine $y_0 = 0$, puisqu'une chèvre n'ayant pas accès au pâturage ne consomme pas d'herbe et a une durée d'ingestion nulle. De la même façon, nous avons choisi de fixer pour les équations d'ingestion, le paramètre a = 1, qui est l'asymptote de la courbe puisque les chèvres ne peuvent pas manger plus que l'ingestion d'herbe volontaire (**HI_V**) ou que l'ingestion totale volontaire (**QI_V**) observée à 24 h/j d'accès lorsque le TA diminue, puisque le TA ne sera jamais de plus de 24 h/j.

Pour modéliser le temps passé à pâturer et la vitesse d'ingestion, nous avons également utilisé un modèle exponentiel, mais de type : $y = a + b \times \exp^{(-c \times TA)}$, où aucun des paramètres n'a été fixé à l'avance.

L'estimation des paramètres de chaque équation a été effectué à partir de la macro Solveur de Excel, en faisant varier les paramètres non fixés jusqu'à minimiser la Somme des Carrés des Ecarts (**SCE**) entre les valeurs observées et les valeurs prévues par le modèle. Les paramètres obtenus et la précision des relations statistiques établies (R^2, écart-type) sont disponibles dans les **Tableau 8.1 et 8.2**. Les courbes obtenues à partir de ces modèles ont été superposées aux données corrigées sur la **Figure 8.3**.

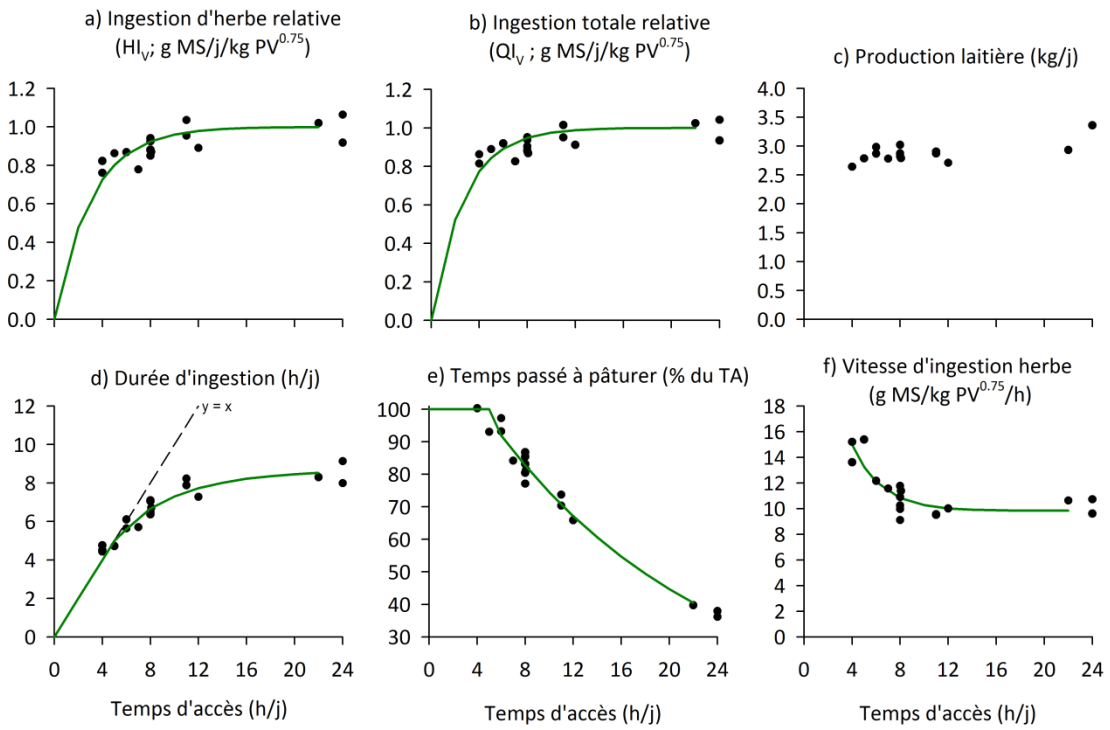

Figure 8.3 Relation intra-série entre le temps d'accès et l'ingestion, la production laitière et les variables comportementales chez les chèvres au pâturage. L'ingestion relative est exprimée en proportion de l'ingestion volontaire d'herbe (HI_V) et totale (QI_V). (●, données corrigées intra-série ; — modèles optimisés intra-série).

II.2.3 Modèles prévisionnels de l'ingestion d'herbe et de l'ingestion totale

L'équation obtenue pour la prévision de l'ingestion d'herbe (Eq. 1**, Tableau 8.1**) montre un écart-type résiduel de 0,06 g MS/j, qui pourrait sans doute être amélioré avec davantage de données pour les temps d'accès restreints où la pente de la courbe est la plus forte. Le paramètre b obtenu dans cette équation est proche de celui obtenu par Pérez-Ramírez (2008) à partir des données bibliographiques chez les bovins (b = 0,32 vs 0,31). La variation d'ingestion relative observée dans notre base de données s'est située entre 0,77 et 1,04. Cette variation de l'ingestion d'herbe avec la réduction du temps d'accès est cohérente avec les modèles établis en vaches laitières, avec un point d'inflexion compris entre 12 et 6 h/j, et qui varie selon la hauteur du couvert (Delagarde et al., 2011). En chèvres laitières, le nombre de données expérimentales est trop faible pour pouvoir raffiner le modèle et tenir compte d'un éventuel effet de la hauteur de l'herbe sur la vitesse d'ingestion et la réponse d'ingestion à des temps courts comme en vaches laitières.

D'après le modèle (**Figure 8.3 a**), lorsque le TA est de 12 h/j, 8 h/j et 4 h/j, les chèvres ingèrent 98 %, 92 % et 73 % de la HI_V qu'elles ingèreraient si le temps d'accès était non

limitant (24 h/j). Pour une chèvre de 60 kg produisant en moyenne 3,5 kg de lait standard à 3,5 % et consommant 600 g de concentré (soit une HI_V de 1,87 kg MS d'herbe), la HI est de 1,83 à 12 h d'accès, et diminue en moyenne de 28 g MS/j pour chaque heure de temps d'accès en moins entre 12 h et 8 h/j (soit 1,73 kg MS/j pour 8 h d'accès), et diminue plus fortement de 88 g MS/j pour chaque heure d'accès en moins entre 8 h et 4 h/j, soit une ingestion de 1,36 kg MS/j pour 4 h d'accès.

Pour l'ingestion totale (Eq. 2, Tableau 8.1), la précision reste la même (ETR = 0,06 g MS/j), ce qui peut être lié au fait que l'on force l'ordonnée à l'origine à zéro (**Tableau 8.1**). Ceci n'est en réalité pas tout à fait juste puisque les chèvres consomment pour la plupart du concentré dans notre base de données. Si l'on ne fixe pas l'origine à 0, l'origine serait y_0 = 0,73 (soit 73 % de QI_V) ce qui n'est pas réaliste puisque la proportion de concentré dans la ration est de seulement 24 % dans la base de données. Or, si l'on fixe y_0 = 0,24 nous diminuons encore plus la précision du modèle. Ceci met donc en avant la nécessité de compléter les données disponibles sur les temps d'accès restreints, c'est-à-dire entre 4 h et 8 h/j, et si possible avec peu de complémentation, afin de mieux décrire les réponses des chèvres dans cette gamme.

Tableau 8.1 Equations exponentielles intra-série décrivant l'effet du temps d'accès sur l'ingestion d'herbe relative, l'ingestion totale relative et la durée d'ingestion (h/j).

		Equation $y = a \times (1 - \exp^{(-b \times TA)})$						
					a		b	
Eq.		n	R^2	ETR	Estimé	ET	Estimé	Et
1	Ingestion d'herbe relative	17	0,42	0,066	1,0		0,32	0,037
2	Ingestion totale relative	17	0,19	0,060	1,0		0,37	0,042
3	Durée d'ingestion (h/j)	20	0,92	0,402	8,7	0,24	0,18	0,013

Très récemment, une relation entre l'ingestion d'herbe relative et le temps d'accès a été proposée pour les chèvres laitières (Sauvant et Giger-Reverdin, 2018) :

Eq. 4 $HI_{R\text{-}TA} = 1{,}25 \times (1 - \exp^{(-0.124 \times TA)})$

Avec $HI_{R\text{-}TA}$ le facteur de restriction de l'ingestion d'herbe liée au TA en relatif de l'ingestion d'herbe volontaire (HI_V), en considérant que celle-ci est atteinte dès 13 h/j d'accès au pâturage. L'ingestion volontaire d'herbe est obtenue à partir du système des UE utilisant la capacité d'ingestion et la quantité de concentré (Sauvant et Giger-Reverdin, 2018).

Pour pouvoir comparer les deux modèles, nous avons exprimé les deux équations selon la même logique horaire maximale, c'est-à-dire en considérant que l'ingestion relative atteint la valeur de 1,0 soit pour un accès de 13 /j (Sauvant et Giger-Reverdin, 2018) soit pour un accès de 24 h/j (**Eq. 1 du Tableau 8.1**).

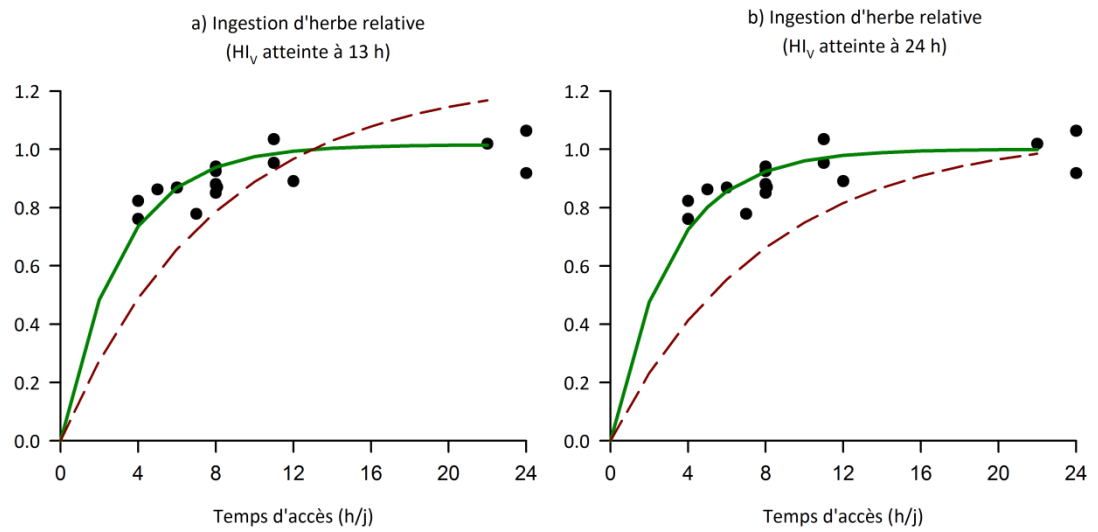

Figure 8.4 Relation intra-série entre le temps d'accès et l'ingestion d'herbe. L'ingestion relative est exprimée en proportion de l'ingestion d'herbe volontaire (HI_V) atteinte à 13 h/j ou 24 h/j d'accès. (●, données corrigées intra-série ; – modèles optimisés intra-série ; – – modèles Sauvant et Giger-Reverdin, 2018).

Dans le cas de notre modèle (Eq. 1), la pente de la relation étant quasi nulle entre 24 et 12 h/j d'accès, l'ingestion relative est normalement peu modifiée entre 24 et 12 h/j d'accès (**Figure 8.4**). Pour le modèle Sauvant et Giger-Reverdin (2018), la pente de la relation entre 4 et 13 h/j est beaucoup plus forte, que l'ingestion d'herbe volontaire soit atteinte à 24 h ou 13 h, ce qui fait que l'équation Sauvant et Giger-Reverdin (2018) ne s'ajuste pas bien aux données observées et que l'ingestion d'herbe prévue diminue de façon plus importante avec la réduction du temps d'accès entre 13 et 4 h/j d'accès. Cela s'explique par le fait que le modèle a été construit en admettant que les chèvres ont une durée d'ingestion de 7 h/j lorsque le temps d'accès est de 10 h/j, que le pourcentage de temps passé à pâturer (70 % du temps d'accès) et que la vitesse d'ingestion d'herbe (environ 300 g MS/h) ne sont pas affectés par le temps d'accès. Si l'Eq. 5 affiche bien un temps passé à pâturer autour des 70 % pour 10 h/j d'accès au pâturage, elle montre aussi que la concentration de l'activité de pâturage continue à augmenter quand le temps d'accès est réduit jusqu'à atteindre 100 % du temps d'accès, et que la vitesse d'ingestion augmente de façon importante en dessous de 8 h/j d'accès. Ces résultats permettent donc d'expliquer la sous-estimation de l'ingestion

d'herbe par le modèle Sauvant et Giger-Reverdin (2018) lorsque le temps d'accès est restreint.

II.2.4 Modèles prévisionnels des variables comportementales

La durée d'ingestion corrigée intra-série étant égale au TA d'accès dès que le TA est inférieur 6 h/j (5,7 lorsque le TA est de 6 h/j ; **Figure 8.3**), nous avons décidé d'appliquer l'équation y = TA lorsque celui-ci est inférieur à 6 h/j et l'Eq. 3 (**Tableau 8.1**) pour les temps d'accès supérieurs à 6 h/j. L'Eq. 3 (**Tableau 8.1**) reliant la durée d'ingestion au temps d'accès montre une très bonne corrélation entre les valeurs observées et prévues (R^2 = 0,92) avec un écart-type résiduel assez faible (ETR = 0,40 h/j). L'asymptote de la courbe tend vers une durée d'ingestion de 8,7 h/j, ce qui est inférieur à la durée d'ingestion maximale de 10,7 h/j observée chez les vaches laitières (Pérez-Ramírez, 2008). Cette différence peut provenir du niveau de complémentation plus important des chèvres, des conditions de pâturage différentes (hauteur d'herbe plus élevée) et des caractéristiques morphologiques des animaux pouvant conduire à des vitesses d'ingestion d'herbe relativement plus importantes chez les chèvres que chez les vaches (par rapport à leur format ou leur capacité d'ingestion), réduisant le « besoin » de pâturer longtemps et donc la durée d'ingestion.

Tableau 8.2 Equations exponentielles intra-essai décrivant l'effet du temps d'accès sur le pourcentage de temps passé à pâturer (% du TA) et sur la vitesse d'ingestion (g MS/kg $PV^{0,75}$/h).

		Equation $y = y_0 + a \times \exp^{(-b \times TA)}$								
					y_0		a		b	
Eq.		n	R^2	ETR	Estimé	ET	Estimé	ET	Estimé	ET
5	Temps passé à pâturer (% du TA)	20	0,98	2,84	4,5	11,85	121,9	8,75	0,06	0,011
6	Vitesse d'ingestion (g MS/kg $PV^{0,75}$/h)	17	0,76	0,99	9,8	0.48	26,6	13,04	0,41	0.126

Si la durée d'ingestion vaut y = TA entre 0 et 6 h/j d'accès, le temps passé à pâturer est alors de 100 % en dessous de 6 h/j d'accès. A partir de 6 h/j, l'Eq. 5 (**Tableau 8.2**) est appliquée. Cette équation montre une très bonne corrélation entre les valeurs prévues et observées (R^2 = 0,98), avec une très bonne précision (ETR = 2,8 % du TA). D'après cette équation, à 24 h/j d'accès les chèvres pâturent 37 % du TA, à 12 h, 8 h et 6 h/j d'accès au pâturage, les chèvres pâturent respectivement 67, 82, et 92 % du TA. Cette concentration de l'activité de pâturage avec la réduction du temps d'accès est légèrement plus élevée que

celle observée chez les bovins qui pâturent 64 et 77 % du TA lorsque celui-ci est respectivement de 12 et 8 h/j (Pérez-Ramírez, 2008).

L'Eq. 6 (**Tableau 8.2**) qui établit la relation entre le temps d'accès et la vitesse d'ingestion montre également une bonne fiabilité (R^2 = 0,76, ETR = 0,99 g MS/kg $PV^{0,75}$/h). Cette équation décrit une vitesse d'ingestion moyenne de 9,5 g MS/kg $PV^{0,75}$/h d'ingestion, soit, pour une chèvre de 60 kg, une vitesse d'ingestion de 200 g MS/h. Le point d'inflexion de la courbe se trouve comme pour la durée d'ingestion vers 8 h/j, la vitesse d'ingestion augmentant en deçà de ce seuil jusqu'à atteindre 12,1 g MS/kg $PV^{0,75}$/h pour 6 h/j d'accès, soit 261 g MS/h (**Figure 8.3 f**). Ceci représente une augmentation de vitesse d'ingestion de 31 % lorsque le temps d'accès est réduit de 50 % entre 12 et 6 h/j d'accès. Cette loi de réponse de la vitesse d'ingestion au temps d'accès et son amplitude sont assez proches de ce qui est observé en vaches laitières (**Figure 8.2**). Les valeurs absolues moyennes de ces vitesses d'ingestion peuvent sembler faibles par rapport à celles mesurées dans les essais de la thèse. Cela peut être dû à la différence entre les animaux utilisés dans la base de données mais aussi à la complémentation distribuée qui réduit la quantité d'herbe ingérée et la motivation des animaux à pâturer lorsque les temps d'accès sont réduits comme cela a été observé par Delagarde et al. (2008).

II.2.5 Modèle prévisionnel de la production laitière

Nous avons fait le choix de ne pas modéliser l'effet du temps d'accès sur la production laitière à partir des données observées. En effet, il est difficile de visualiser une courbe exponentielle applicable à ces données (Figure 8.3). De plus, il ne semblait pas logique ou possible de fixer une ordonnée à l'origine y_0 = 0. De plus, la réponse laitière est obtenue à partir d'un calcul des apports en énergie (UFL) et protéines (PDI) liées à l'ingestion (Sauvant et Giger-Reverdin, 2018), et peut donc être calculée ou estimée dès que la réponse d'ingestion est estimée (Sauvant et Giger-Reverdin, 2018).

Conclusion

Les essais réalisés au cours de cette thèse ont permis de doubler le nombre de données disponibles sur les effets du temps d'accès sur l'ingestion, les performances et le comportement alimentaire des chèvres au pâturage, mais aussi d'établir des lois de

réponses au temps d'accès. Ces lois de réponses sont globalement similaires à celles décrites chez les vaches laitières, avec un point d'inflexion autour des 8 h/j d'accès et avec une adaptation comportementale légèrement meilleure des chèvres sur des temps d'accès relativement courts comparativement aux vaches. Des études restent néanmoins à effectuer pour apporter de la précision aux modèles, notamment (1) en incluant un témoin de plus de 12 h/j d'accès au pâturage à chaque comparaison de temps d'accès; (2) en réduisant la complémentation même sur les temps d'accès inférieurs à 8 h/j pour vraiment mettre en évidence l'effet du temps d'accès; (3) en étudiant l'effet du temps d'accès en interaction avec d'autres facteurs de conduite comme la complémentation, la quantité ou la qualité de l'herbe offerte, la hauteur d'herbe ; (4) en travaillant à plus long terme sur des saisons et des stades de lactation différents, pour voir si la motivation à pâturer sur des temps d'accès courts se maintient avec le temps.

III. Effet de la quantité d'herbe offerte

Deux essais ont été réalisés avec pour objectif de déterminer l'effet de la quantité d'herbe offerte quotidiennement sur l'ingestion et/ou la production laitière, ainsi que sur le comportement alimentaire des chèvres conduites en pâturage rationné. Les deux essais ont été réalisés en fin de printemps (mai-juin), sur des prairies multi-espèces de bonne qualité et de hauteur en entrée de parcelle assez élevée (15-18 cm herbomètre).

III.1 Apports des essais et cohérence avec la littérature

Les données issues de la thèse sont les toutes premières données décrivant l'effet de la quantité d'herbe offerte sur l'ingestion, la production laitière et le comportement alimentaire des chèvres laitières au pâturage. En effet, les études précédentes sur la sévérité du pâturage avaient toutes étudié l'effet du chargement, en général en pâturage continu, conditions ne permettant pas d'estimer précisément la quantité d'herbe offerte chaque jour et de quantifier son impact sur l'ingestion et les performances. Il n'a donc pas été possible de créer une base de données commune entre nos données et celles de la littérature, ni de développer une équation de prévision de l'ingestion sensible à la quantité d'herbe offerte.

Les deux essais ont montré une baisse plus importante de l'ingestion et/ou de la production laitière entre les niveaux moyen et faible qu'entre les niveaux élevés et moyen

de quantité offerte (**Figure 8.5**). Ces résultats sont cohérents avec les réponses curvilinéaires connues chez les brebis (Penning et al., 1986) et chez les vaches laitières (Pérez-Prieto et Delagarde, 2013). Les pentes des réponses d'ingestion observées dans nos essais sont également dans les gammes observées chez les vaches laitières, c'est-à-dire une réduction de 100 g MS d'herbe ingérée/kg MS de QO entre les niveaux élevé et moyen et de 200-250 g MS d'herbe ingérée/kg MS de QO entre les niveaux moyen et faible (Delagarde et al., 2011 ; Pérez-Prieto et Delagarde, 2013). Du fait d'une complémentation similaire entre les lots, l'ingestion totale varie de la même façon que l'ingestion d'herbe.

L'évolution non linéaire de la durée d'ingestion avec la quantité d'herbe offerte que nous avons observée sur les chèvres (**Figure 8.5**) avait également été observée chez les brebis (Penning et al., 1986) et les vaches laitières (Prieto et Delagarde, 2013). L'hypothèse principale est que la durée d'ingestion résulte de l'équilibre entre les variations de préhensibilité du couvert et de la motivation des animaux à pâturer, les deux affectant la vitesse d'ingestion. Lorsque la quantité d'herbe offerte diminue, la profondeur totale de défoliation du couvert augmente, réduisant la préhensibilité et la proportion de limbes dans la fraction ingérée (**Chapitre 5**). Lorsque la QO est réduite entre le niveau élevé et moyen, la vitesse d'ingestion diminue du fait d'une plus faible facilité de préhension de l'herbe. Les chèvres augmentent alors leur durée d'ingestion (**Figure 8.5 d**) pour compenser la réduction de vitesse d'ingestion (**Figure 8.5 f**). Lorsque la QO est réduite à un niveau encore plus faible, la faible surface offerte oblige les chèvres à pâturer une strate plus profonde, plus riche en gaines foliaires. La difficulté de préhension de l'herbe est telle que les chèvres, comme les vaches, ne semblent plus avoir la motivation pour augmenter leur durée d'ingestion, avec même une réduction des activités de pâturage en deuxième partie de journée, entraînant une plus forte baisse d'ingestion. Le pourcentage de temps passé à pâturer d'environ 70 % du TA est en cohérence avec le modèle sur l'effet du temps d'accès présenté dans la section précédente (**Chapitre 8. II.2**).

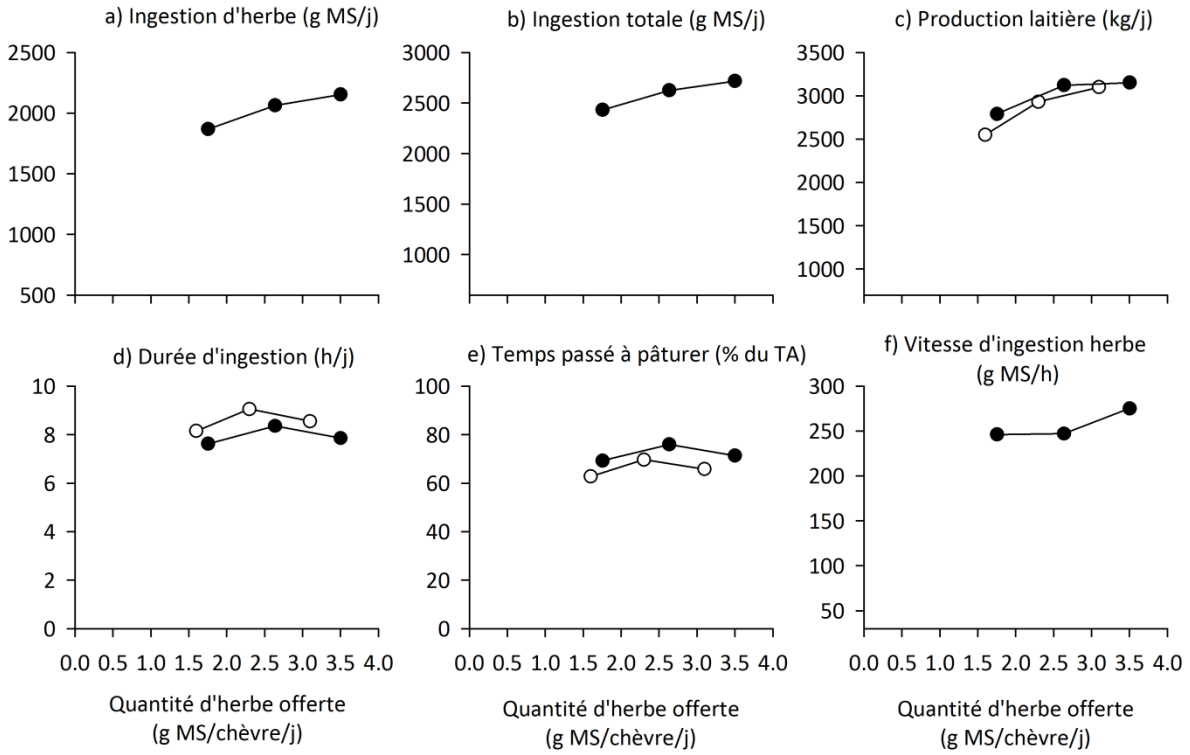

Figure 8.5 Effet de la quantité d'herbe offerte (g MS/chèvre/j) sur l'ingestion (g MS/j), la production laitière (kg/j) et le comportement des chèvres au pâturage (○, essai 1QO ; ●, essai 2QO).

Les variations de production laitière avec la QO ont été similaires entre les essais, et cohérentes avec la variation d'ingestion mesurée. Elles sont également cohérentes avec les lois de réponse de la production laitière à la QO connues chez les vaches laitières. En effet, chez les vaches laitières, la baisse de production laitière n'est que de 2 % entre un niveau élevé et un niveau moyen de QO, mais de 10 à 20 % entre un niveau moyen et un niveau bas de QO (Pérez-Prieto et Delagarde, 2013), ce qui est proche des variations relatives de production laitière observées dans nos deux essais.

D'après la réponse de production laitière des chèvres à la quantité d'herbe offerte, il semble donc qu'il y ait un point d'inflexion de la relation curvilinéaire autour de 2,5 kg MS/chèvre/j d'herbe offerte (mesure au-dessus de 4 cm du sol). C'est également jusqu'à ce point d'inflexion que les chèvres semblent capables de rester motivées à ingérer une strate plus basse et moins préhensible. Les données acquises sur l'ingestion d'herbe semblent montrer un seuil légèrement supérieur, mais qui mérite d'être vérifié par des études supplémentaires, le nombre de données disponibles restant très faibles à ce jour.

III.2 Application du modèle d'estimation de l'effet de la QO sur l'ingestion pour les vaches et les chèvres laitières (INRA, 2018)

Les données sur l'effet de la quantité d'herbe offerte sur l'ingestion chez les chèvres laitières étant inexistantes avant cette thèse, il n'a pas été possible de comparer nos résultats à ceux de la littérature. En revanche, il a été possible de comparer les variations relatives de l'ingestion observées dans l'essai 2QO aux deux modèles de prévision de l'effet de la QO sur l'ingestion d'herbe proposés par les systèmes INRA, dont l'un pour les vaches laitières (Delagarde et al., 2011) et l'autre très récent pour les chèvres laitières (Sauvant et Giger-Reverdin, 2018).

Les équations de prévision de l'effet de la QO sur l'ingestion d'herbe au pâturage, développées chez les vaches et chez les chèvres, sont présentées au **Tableau 8.3**. Elles sont toutes les deux exprimées en valeurs relatives, et décrivent la relation entre la quantité d'herbe offerte relative (QO_R) et le facteur de restriction de l'ingestion d'herbe liée à la QO (HI_{R-QO}). La QO relative est la QO exprimée en proportion de l'ingestion volontaire (HI_V), calculée à partir du système UE, comme si l'herbe pâturée était fauchée et distribuée à volonté aux animaux (Delagarde et al., 2011). Le fait que tout soit calculé en valeurs relatives permet de comparer les deux modèles et de les appliquer sur les données de l'essai 2QO de la thèse.

Tableau 8.3 Modèles et formules nécessaires à la comparaison des données de l'essai 2QO aux modèles INRA (2018) de prévision de l'effet de la QO sur l'ingestion des vaches et des chèvres

Modèle QO vaches	Modèle QO chèvres	
$HI_{R-QO} = 1{,}08 \times (1 - \exp^{(-1{,}519 \times QOR)})$	$HI_{R-QO} = 1{,}15 \times (1 - \exp^{(-0{,}575 \times QOR)})$	INRA (2018)
$QO_R = QO_2 / HI_V$	$QO_R = QO_5 / HI_V$	
$QO_i = Biom_i \times SO$		Delagarde et al. (2011)
$Biom_2 = 1{,}07 \times Biom_4 + 587$	$Biom_5 = (Biom_2 - 815)/1{,}12$	

Avec HI_{R-QO}, le facteur de restriction de l'ingestion d'herbe lié à la QO; QO_R, la QO relative exprimée en proportion de l'ingestion volontaire ; QO_2 et QO_5, les QO estimées respectivement à 2 et 5 cm au-dessus du sol (kg MS/animal/j). $Biom_2$, $Biom_4$ et $Biom_5$, les biomasses calculées respectivement à 2, 4 et 5 cm au-dessus du sol (kg MS/ha) ; SO, la surface offerte (m²/animal/j).

Pour obtenir l'ingestion d'herbe des animaux au pâturage, il suffit alors de multiplier l'ingestion d'herbe volontaire (HI_v) par le facteur de correction HI_{R-QO} estimé par chacun des modèles. La quantité ingérée d'herbe volontaire des chèvres de l'essai 2QO a été estimée

selon le système UE (INRA, 2010) à partir de la capacité d'ingestion des chèvres, de la valeur UE de l'herbe ingérée et du taux de substitution global herbe/concentré.

En moyenne, l'ingestion d'herbe estimée par les modèles QO vaches et chèvres est plus faible de 100 g et 400 g MS/j aux données mesurées dans l'essai 2QO, montrant une sous-estimation plus forte avec le modèle QO chèvres.

Tableau 8.4 Comparaison des variations d'ingestion d'herbe, exprimée en kg MS/j ou en proportion de l'ingestion observée sur le traitement QO élevée (QO_{max}), en fonction de la QO

		Essai 2QO		Modèle QO vaches INRA (2018)		Modèle QO chèvres INRA (2018)	
QO_R	HI_V	HI mesurée	HI en proportion QO_{max}	HI estimée	HI en proportion QO_{max}	HI estimée	HI en proportion QO_{max}
1,16	**1,96**	**1,87**	**0,87**	**1,75**	**0,85**	**1,33**	**0,71**
1,69	**1,97**	**2,06**	**0,96**	**1,97**	**0,96**	**1,68**	**0,90**
2,30	**1,96**	**2,15**	**1,00**	**2,06**	**1,00**	**1,88**	**1,00**

Avec QO_R, la QO relative exprimée en proportion de l'ingestion volontaire ; HI_V, l'ingestion d'herbe volontaire (kg MS/j) ; HI, l'ingestion d'herbe mesurée ou estimée (kg MS/j).

Le modèle QO vaches prévoit très bien les variations relatives de l'ingestion observées dans l'essai 2QO (**Tableau 8.4 et Figure 8.6**), alors que le modèle QO chèvres prévoit une baisse de l'ingestion plus rapide lorsque QO diminue. Par exemple, selon le modèle QO vaches, il faut offrir 1,7 fois la HI_V au-dessus de 4 cm pour atteindre cette ingestion volontaire, alors que, selon le modèle QO chèvres, il faut offrir 2,5 fois la QI_V pour atteindre cette ingestion volontaire (Figure 8.6).

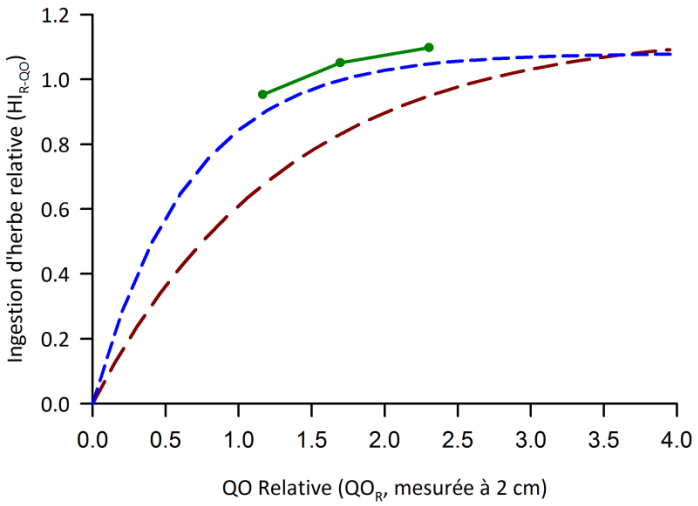

Figure 8.6 Relation entre l'ingestion d'herbe relative (HI_{R-QO}) et la QO relative en fonction du modèle utilisé (—●—, données essai 2QO ; — —, modèle QO vaches ; — —, modèle QO chèvres).

Cet écart entre modèles est important, et montre pour l'instant que le modèle QO vaches, robuste car développé sur un nombre important de données (Delagarde et al., 2011) pourrait s'appliquer aussi aux chèvres laitières. Des études complémentaires sont cependant nécessaires pour mieux décrire l'effet de la QO chez les chèvres laitières, notamment dans des conditions de pâturage différentes.

Chez les vaches laitières, l'intérêt de réduire la quantité d'herbe offerte par animal est d'augmenter le rendement d'herbe valorisée et la production laitière par hectare, même si cela pénalise légèrement les performances par animal. En effet, il a été montré qu'une réduction de 10 % de l'ingestion ou de la production individuelle, par un pâturage plus sévère, est optimale pour de bons rendements à l'échelle de l'hectare, c'est-à-dire l'herbe valorisée à l'hectare et la production laitière/ha (McMeekan et al., 1963 ; McCarthy et al., 2011, Delagarde et Peyraud, 2013). Sur le plan pratique, cela permet également de pâturer « ras » et donc de bien gérer l'épiaison des graminées au printemps (section et consommation de l'épi en formation par les animaux), d'assurer une bonne qualité des repousses après chaque pâturage (plus forte proportion de feuilles), et de limiter les interventions mécaniques comme la fauche des refus, par exemple. Dans le **Chapitre 6**, nous avons montré que réduire la quantité d'herbe offerte entre le niveau élevé et le niveau faible réduisait la production individuelle de 18 % mais augmentait la production par hectare de 55 %, ce qui est proche des variations relatives observées chez les brebis et les vaches. L'intérêt de réduire la QO en élevage caprins doit cependant être étudié plus finement, compte tenu de la meilleure valorisation du prix du lait en chèvres, les éleveurs cherchant souvent à atteindre le potentiel de production des animaux plutôt qu'à réduire le coût alimentaire. Il faudrait également effectuer des essais long-terme pour quantifier l'effet de la QO sur d'autres variables comme la persistance de la lactation, les réserves corporelles des animaux ainsi que leur niveau d'infestation par des parasites gastro-intestinaux. En effet, Celaya et al. (2016) ont mis en évidence une infestation plus importante par les nématodes lorsque la pression de pâturage est augmentée dans le cas d'un pâturage continu. L'effet des pratiques de pâturage, et notamment de la quantité d'herbe offerte, sur le niveau d'infestation serait donc à étudier dans le cas d'un pâturage tournant. Dans cette thèse, le suivi individuel en début et fin de chaque essai du niveau d'excrétion d'œufs de strongles gastro-intestinaux par gramme de fèces, permet de constater que l'infestation des chèvres a été maintenu à un niveau très faible (< 250 OPG) quels que soient les traitements et la

quantité d'herbe offerte. Ceci peut s'expliquer par le fait que la saison de pâturage n'a duré que 4 mois (mars-juin, 3 à 4 cycles de pâturage maximum), permettant de rompre le cycle des parasites durant les 8 mois suivants (juillet-février). Cette pratique de pâturage en blocs est celle recommandée pour favoriser une maîtrise de l'infestation parasitaire, dont l'effet bénéfique au final pourrait être plus important que l'effet de la pression de pâturage (Napoléone et al., 2011).

Conclusion

La quantité d'herbe offerte quotidiennement aux chèvres laitières recevant 600 g de concentrés par jour au pâturage semble impacter négativement l'ingestion et la production laitière uniquement en deçà d'un seuil proche de 2,5 kg MS/chèvre/jour (mesuré au-dessus de 4 cm). Ce seuil correspond à une quantité d'herbe offerte (mesurée au-dessus de 2 cm) équivalant à 1,7 fois l'ingestion volontaire d'herbe, estimée à partir de la capacité d'ingestion des chèvres et des éventuels compléments. Le nombre de données acquises est cependant très faible, ne permettant pas d'établir de lois de réponse génériques. De plus, les essais ont été réalisés à court terme, et ne permettent donc pas pour le moment de donner des recommandations précises aux éleveurs concernant la pression de pâturage. Il sera donc nécessaire à l'avenir de compléter les données déjà acquises, et d'effectuer des essais long terme, afin de déterminer les effets de la quantité d'herbe offerte à la fois sur l'ingestion et la production par chèvre et par hectare, sur des saisons entières de pâturage. La prise en compte du parasitisme gastro-intestinal sera essentielle, les chèvres étant très sensibles aux infestations par les strongles digestifs.

IV. Variabilité interindividuelle

L'essai sur la variabilité interindividuelle a permis de confirmer les lois de réponses de l'ingestion connues à l'auge, c'est-à-dire la variation de l'ingestion avec la production laitière et le poids vif, mais aussi l'absence de significativité de l'effet du stade de lactation et de la parité. Les chèvres primipares ont bien évidemment ingéré moins d'herbe et produit moins

de lait que les chèvres multipares, mais cette différence a été expliquée en totalité par les écarts de poids et de production initiale entre parités (**Chapitre 7**).

IV.1 Constitution d'une base de données individuelle inter-essais

Pour déterminer l'effet des caractéristiques individuelles des chèvres (essentiellement production laitière et poids vif) sur l'ingestion au pâturage à partir d'un large jeu de données, une base de données commune regroupant l'essai Indiv (Lusignan) et les essais réalisés au Rheu sur l'effet du temps d'accès et de la quantité d'herbe offerte, où l'ingestion a été mesurée (2 TA, 3TA, 2QO), a été constituée. Pour constituer cette base de données, nous avons utilisé les données individuelles par chèvre et par essai et pas les données par chèvre et par période. Pour l'essai de Lusignan, dans lequel toutes les chèvres ont pâturé dans les mêmes conditions, les données brutes ont été utilisées sans aucune correction. Pour l'essai 2TA, réalisé en continu, les données individuelles ont été corrigées de l'effet des traitements, en calculant les moyennes ajustées par chèvre comme si elles étaient toutes avec un temps d'accès de 11 h/j, correspondant au temps d'accès de l'essai Indiv de Lusignan. Pour les essais réalisés en carré latin (3TA et 2QO), nous avons utilisé directement les moyennes ajustées par chèvre issues des analyses de variance. De cette base de données totale (n=184), ont été retirées les données correspondant à des chèvres malades (n=2) ou ayant fait des refus de concentrés ou de concentré Yb importants ou non quantifiables (n=6). Au final, la base de données est constituée de 176 données individuelles, 1 donnée correspondant à 1 chèvre dans 1 essai (60, 36, 45, 35 données pour les essais Indiv, 2TA, 3TA et 2QO, respectivement).

IV.2 Description de la base de données et relations entre les variables

Pour visualiser la variabilité des variables d'intérêt (production laitière, poids vif et ingestion) dans chacun des essais, nous avons représenté par des « boîtes à moustaches » la répartition de la production laitière initiale, du poids vif initial et de l'ingestion d'herbe observée (**Figure 8.7**)

Dans la **Figure 8.7**, la variabilité interindividuelle pour l'essai effectué à Lusignan (Indiv) sur la production laitière et le poids vif, ainsi que sur l'ingestion, apparaît plus grande que dans les essais conduits au Rheu, ce qui était recherché.

Comme pour l'essai Indiv (**Chapitre 7**), si l'on représente l'ingestion totale en fonction de la production laitière initiale et en fonction du poids vif initial, on constate également qu'il existe une relation positive entre l'ingestion et les caractéristiques individuelles des chèvres, à la fois pour le poids vif et la production laitière initiale (**Figure 8.8**). Les pentes des relations sont assez proches entre essais pour la relation ingestion/poids vif (**Figure 8.8 a**), alors que la pente de la relation ingestion/production laitière est plus forte dans l'essai de Lusignan que dans les essais au Rheu (**Figure 8.8 b**).

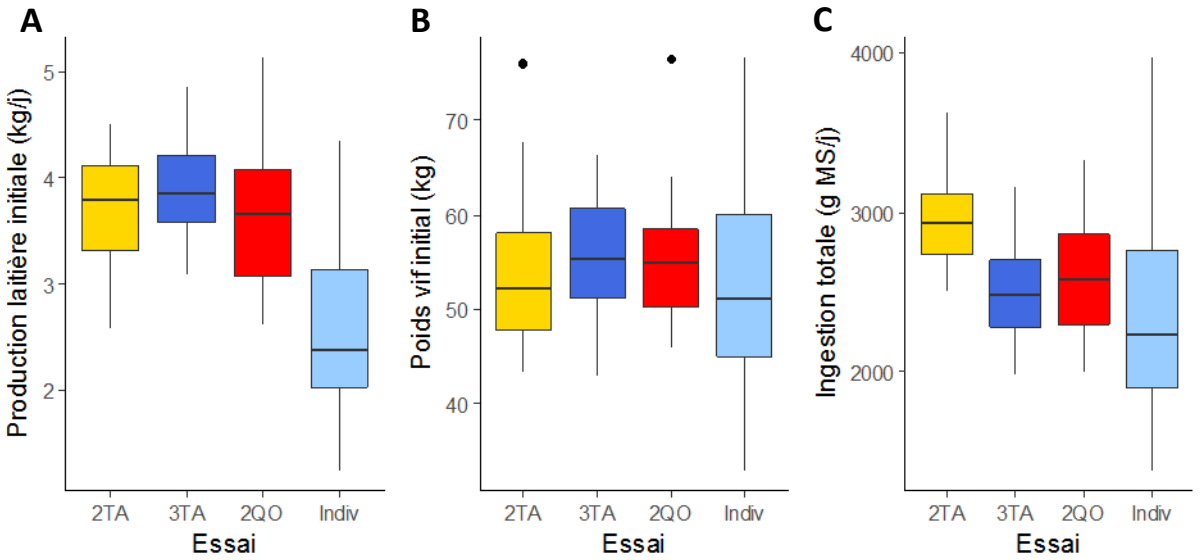

Figure 8.7 Répartition des données de production laitière initiale (A), poids vif initial (B), et d'ingestion totale (C) pour chaque essai (médiane, quartiles, valeurs extrêmes).

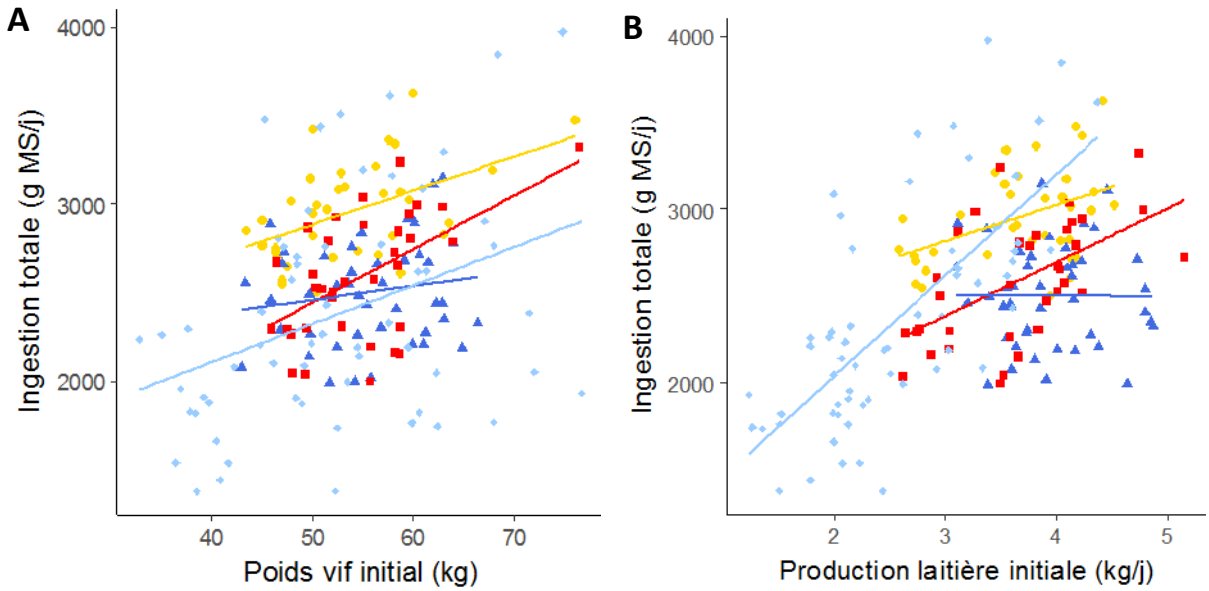

Figure 8.8 Relation entre l'ingestion totale et le poids vif initial (A) et la production laitière initiale (B) (● 2TA ; ▲ 3TA ; ■ 2QO ; ◆ Indiv).

IV.3 Variation de l'ingestion totale en fonction des caractéristiques individuelles des chèvres

Sur la base de ces données, des régressions linéaires multiples ont été effectuées avec comme variables explicatives testées : la production laitière brute (PLB_i) ou la production laitière standard à 3,5 % initiale (PLS_i), ainsi que le poids vif initial (PV_i). Les facteurs Stade et Parité étudiés dans l'essai Indiv (**Chapitre 7**) n'ont pas été testés dans ces régressions sur la base de données de tous les essais car d'une part, ils n'étaient pas significatifs dans ces régressions (**Chapitre 7**) et d'autre part, les essais au Rheu ne disposaient pas, ni de primipares, ni de chèvres en fin de lactation dans leurs effectifs.

Les régressions les plus précises sont les suivantes (n=176) :

Eq.1 $QI = 1060 + 12{,}6 \times \mathbf{PV_i} + 243 \times \mathbf{PLS_i}$ $R^2 = 0{,}30$; ETR = 412 g MS/j

Eq.2 $QI = 1057 + 11{,}4 \times \mathbf{PV_i} + 267 \times \mathbf{PLB_i}$ $R^2 = 0{,}31$; ETR = 409 g MS/j

avec QI la MS ingérée totale en g MS/j ; PV_i le poids vif initial en kg ; PLB_i la production laitière brute initiale en kg/j ; PLS_i la production laitière standard à 3,5 % en kg/j.

On constate que la corrélation (R^2 =0,31) et la précision (ETR = 410 g MS/j) de ces deux équations sont très proches, et pas très précises. Il faudrait bien sûr tenir compte aussi des caractéristiques de l'herbe ingérée, de la nature et de la dose des compléments ingérés, comme dans le système INRA (2018), pour obtenir une précision plus importante.

A partir des Eq. 1 et 2, une variation de 10 kg de poids vif entraîne une variation dans le même sens de l'ingestion de 151 et 138 g MS/j, respectivement. Ces variations sont dans la gamme 95 à 160 g MS/j précédemment observée à l'auge et au pâturage dans les modèles de la littérature rappelés au **Tableau 8.4** (AFRC, 1998 ; Avondo et al., 2008 ; Luo et al., 2004 ; INRA, 2010 ; Sauvant et al., 2012).

D'après les Eq. 1 et 2, une augmentation de production laitière (brute ou standard) de 1,0 kg entraîne une variation dans le même sens de l'ingestion totale de 243-267 g MS/j, ce qui est également dans la gamme rapportée par la littérature, soit entre 168 g et 420 g MS/j (AFRC, 1998 ; Avondo et al., 2008 ; Luo et al., 2004 ; INRA, 2010 ; Sauvant et al., 2012). L'Eq.1 obtenue est finalement relativement proche de celle décrite pour la capacité d'ingestion des chèvres (CI), avec cependant une pente liée au poids vif légèrement plus faible dans le système INRA (126 g MS vs 160 g MS/10 kg de poids vif).

Tableau 8.4 Régressions multiples de prévision de l'ingestion à l'auge et au pâturage.

N° Eq	Equation[1]	Références
3 4	$QI = 0{,}024 \times PV^{0,75} + 0{,}4 \times GMQ + 0{,}42 \times PLS_{35} + 0{,}7 \times PF$ $QI = 0{,}062 \times PV^{0,75} + 0{,}305 \times PLB$	AFRC (1998)
5	$QI = 1{,}7317 + 0{,}0095 \times PV + 0{,}4445 \times PLS_{40} - 0{,}0016 \times EM_R + 1{,}3075 \times GMQ$	Luo et al. (2004)
6	$QI_F = 1{,}58 + 0{,}168\ (PLB - 2{,}74) + 0{,}0136\ (PV - 54{,}4) - 0{,}0335 \times QI_C^2$	Sauvant et al. (2012)
7	$CI = [1{,}3 + 0{,}016 \times (PV - 60) + 0{,}24 \times PL_{35}]$	INRA (2010)
8	$HI = 82{,}11 - 6{,}188 \times MAT_C + 0{,}138 \times PLS + 9{,}131 \times PV$ $R^2 = 0{,}41$	Avondo et al. (2008) **Pâturage**
9 10	$QI = 221 + 15{,}1 \times PV_i + 540 \times PLS_i$ $R^2 = 0{,}53$; ETR = 442 g MS/j $QI = 254 + 13{,}8 \times PV_i + 543 \times PLB_i$ $R^2 = 0{,}55$; ETR = 431 g MS/j	Essai Indiv (Chap. 7) **Pâturage**

QI (kg/j) : quantité de matière sèche ingérée, de fourrage (F) ou de concentrés (C) ; HI, (kg/j) : quantité de matière sèche ingérée d'herbe ; PF (en décimal) : proportion de fourrage ; PV (kg) : poids vif ; $PV^{0,75}$(kg) : poids vif métabolique ; GMQ (kg PV/j): gain moyen quotidien ; PLB (kg/j): production laitière brute ; PLS_{40} ou PLS_{35}(kg/j) : production laitière standard à 4,0 % ou 3,5 % de matière grasse ; EM_R (MJ/kg MS): concentration en énergie métabolisable de la ration ; CI (UEL/j): capacité d'Ingestion ; MAT_C, la quantité de MAT apportée par le concentré (g/j).

Conclusion

Cette synthèse de 4 essais de la thèse montre que les lois de réponses de l'ingestion aux caractéristiques individuelles des chèvres laitières au pâturage restent globalement les mêmes qu'à l'auge, avec une forte relation entre l'ingestion, la production laitière et le poids vif, y compris avec des pentes relativement proches. L'acquisition de données supplémentaires au pâturage reste cependant nécessaire pour augmenter la précision des modèles, et notamment via la prise en compte d'autres variables animales comme la note d'état corporel, le stade physiologique ou la parité. La prise en compte des autres facteurs de variation de l'ingestion, comme la qualité de l'herbe, la complémentation et les conditions de pâturage semblent plus intéressante à réaliser au travers d'un modèle conceptuel comme le système des unités d'encombrement (INRA, 2018) plutôt qu'au travers d'une simple régression multiple dans laquelle toutes les interactions entre facteurs ne peuvent pas être décrites correctement.

Chapitre 9 : Conclusion générale

L'objectif de cette thèse était de comprendre et de quantifier l'influence des pratiques de gestion du pâturage sur la régulation de l'ingestion et les performances des chèvres laitières au pâturage, dans le but d'affiner les recommandations aux éleveurs et d'élaborer les bases d'un modèle de prévision pouvant être intégré prochainement au système INRA (INRA, 2018) et au logiciel INRAtion.

Pour cela, face à la faible disponibilité de données notamment sur l'effet du temps d'accès et de la quantité d'herbe offerte sur l'ingestion et les performances des chèvres laitières, nous avons mis en place 6 essais pour répondre aux questions suivantes :

- Quelles sont les lois de réponses des chèvres au temps d'accès ? (3 essais)
- Quelles sont les lois de réponses des chèvres à la quantité d'herbe offerte ? (2 essais)
- Quelle est l'influence des caractéristiques individuelles des chèvres sur leur ingestion au pâturage ? (1 essai)

En parallèle des essais de la thèse, 7 essais méthodologiques de calibration et de validation des méthodes d'estimation de l'ingestion d'herbe par les chèvres, et de l'enregistrement de leur comportement alimentaire, ont été réalisés. Ces méthodes se sont révélées fiables et précises dans une large gamme de conditions d'alimentation, permettant la réalisation des essais de la thèse dans de bonnes conditions méthodologiques.

Les essais sur l'influence du temps d'accès ont permis de doubler le nombre de données sur les variations d'ingestion, de production laitière et de comportement alimentaire, notamment dans les temps restreints inférieurs à 12 h/j, gamme généralement appliquée en élevages de chèvres laitières en France. Ces essais, associés à ceux de la littérature, ont permis d'établir des lois de réponses des chèvres au temps d'accès au pâturage, avec un point d'inflexion autour de 7-8 h/j d'accès. Pour des chèvres recevant 600 g de concentré par jour et pâturant des prairies de bonne valeur alimentaire et en quantité non-limitante, le temps d'accès ne serait pas limitant au-delà de ce seuil. Les chèvres ont montré une très bonne capacité à concentrer leurs activités de pâturage et à augmenter leur vitesse d'ingestion sur des temps d'accès très courts, mais l'ingestion et la production laitière sont réduites en deçà de 6 h/j d'accès aux parcelles pour le pâturage.

Les essais de la thèse ont fourni les toutes premières données sur l'effet de la quantité d'herbe offerte quotidiennement sur l'ingestion, les performances et le comportement alimentaire des chèvres laitières conduites au pâturage. Les résultats obtenus ont montré que des chèvres recevant 600 g de concentré quotidiennement semblent impactées par une baisse de quantité d'herbe offerte uniquement en dessous d'un seuil proche de 2,5 kg MS/chèvre/jour (mesuré au-dessus de 4 cm), avec réduction de la production laitière, de l'ingestion, via une baisse de la vitesse d'ingestion d'herbe et la durée d'ingestion.

La comparaison de deux troupeaux dans les mêmes conditions de pâturage a permis d'étudier simultanément l'effet du stade de lactation (pleine lactation ou fin de lactation), de la parité (primipare ou multipare), de la production laitière, du poids vif et de la note d'état corporel sur le niveau individuel d''ingestion d'herbe. Cet essai a confirmé l'effet positif du poids vif et de la production laitière sur le niveau d'ingestion, mais aussi l'absence d'effet du stade de lactation et de la parité lorsque le poids et la production sont connus, ce qui observé à l'auge dans la littérature. Notre étude n'a toutefois pas mis en évidence d'effet de la note d'état corporel, pourtant connu chez les autres ruminants. La synthèse des données individuelles d'ingestion des différents essais de la thèse a confirmé les effets du poids vif et de la production laitière, avec des pentes associées proche de celles connues à l'auge chez les chèvres laitières.

Les apports de la thèse sont importants et innovants, mais nécessitent d'être complétés pour apporter de la précision à chaque modèle. Dans le cas précis du temps d'accès, il faudrait par exemple tester des temps d'accès plus long (supérieur à 13 h/j, voire avec nuit comprise) pour avoir une loi complète à partir d'un témoin sans aucune restriction. Il faudrait également tester l'interaction entre le temps d'accès et la quantité d'herbe offerte, ainsi qu'avec les autres facteurs de gestion (hauteur d'herbe, complémentation). Enfin, les essais effectués à court terme comme dans cette thèse sont nécessaires pour contrôler, quantifier et modéliser les effets des facteurs de gestion du pâturage. Ils doivent être complétés par des essais à long terme pour en mesurer les effets sur des situations pratiques et sur d'autres variables animales (état corporel, persistance de la lactation, parasitisme gastro-intestinal), végétales (qualité des repousses) et économiques.

Dans tous les cas, même si à ce jour les données disponibles ne nous permettent pas de modéliser simultanément l'ensemble des réponses des chèvres laitières aux différents facteurs de gestion du pâturage, les résultats acquis dans cette thèse laissent entrevoir la possibilité d'appliquer le cadre conceptuel des modèles existants chez les vaches laitières, en remplaçant les équations développées pour les vaches par des équations spécifiques aux chèvres laitières.

Références bibliographiques

AFRC, 1998. The nutrition of goats, Report / Technical Committee on Responses to Nutrients, Agricultural and Food Research Council. CAB International, Wallingford, UK.

Agabriel, J., Giraud, J.M., 1988. Contenu ruminal de la vache charolaise. Influence d'une brusque variation du niveau alimentaire. Reprod. Nutr. Develop. 28, 107–108.

Animut, G., Goetsch, A.L., Aiken, G.E., Puchala, R., Detweiler, G., Krehbiel, C.R., Merkel, R.C., Sahlu, T., Dawson, L.J., Johnson, Z.B., Gipson, T.A., 2005a. Grazing behavior and energy expenditure by sheep and goats co-grazing grass/forb pastures at three stocking rates. Small Rumin. Res. 59, 191–201.

Animut, G., Goetsch, A.L., Aiken, G.E., Puchala, R., Detweiler, G., Krehbiel, C.R., Merkel, R.C., Sahlu, T., Dawson, L.J., Johnson, Z.B., Gipson, T.A., 2005b. Performance and forage selectivity of sheep and goats co-grazing grass/forb pastures at three stocking rates. Small Rumin. Res. 59, 203–215.

Askar, A.R., Gipson, T.A., Puchala, R., Tesfai, K., Detweiler, G.., Asmare, A., Keli, A., Sahlu, T., Goetsch, A.L., 2013. Effects of stocking rate and physiological state of meat goats grazing grass/forb pastures on forage intake, selection, and digestion, grazing behavior, and performance. Livest. Sci. 154, 82–92.

Association Française de Normalisation, 1997. Aliments des animaux - Dosage de l'azote - Méthode par combustion (DUMAS) - NF V18-120; Dosage des cendres brutes - NF V18-101., AFNOR Editions. ed. Association Française de Normalisation, Saint-Denis La Plaine, France.

Aufrère, J., Michalet-Doreau, B., 1988. Comparison of methods for predicting digestibility of feeds. Anim. Feed Sci. Technol. 20, 203–218.

Avondo, M., Biondi, L., Pagano, R.I., Bonanno, A., Lutri, L., 2008. Feed intake, in: Dairy Goats Feeding and Nutrition. CABI, Wallingford, UK ; Cambridge, MA, 147–160.

Bas, P., 1984. Enzymatic determination of nonesterified fatty acids in goat plasma. Annales de recherches vétérinaires. Annals of Veterinary Research 15, 7–16.

Baudracco, J., Lopez-Villalobos, N., Holmes, C., Macdonald, K., 2010. Effects of stocking rate, supplementation, genotype and their interactions on grazing dairy systems: a review. New. Zeal. J. Agr. Res. 53, 109–133.

Baumont, R., Prache, S., Meuret, M., Morand-Fehr, P., 2000. How forage characteristics influence behaviour and intake in small ruminants: a review. Livest. Prod. Sci. 64, 15–28.

Beker, A., Gipson, T.A., Puchala, R., Askar, A.R., Tesfai, K., Detweiler, G.D., Asmare, A., Goetsch, A.L., 2009. Effects of Stocking Rate, Breed and Stage of Production on Energy Expenditure and Activity of Meat Goat Does on Pasture. J. Appl. Anim. Res. 36, 159–174.

Béranger, C., Micol, D., 1981. Utilisation de l'herbe par les bovins au pâturage - Importance du chargement et du mode d'exploitation. Fourrages 85, 73–93.

Berhan, T., Puchala, R., Sahlu, T., Merkel, R.C., Goetsch, A.L., 2005. Effects of length of pasture access on energy use by growing meat goat. J. Appl. Anim. Res. 28, 1–7.

Bibby, J., Toutenburg, H., 1977. Prediction and improved estimation in linear models., Whiley. ed. London.

Bonanno, A., Di Grigoli, A., Alicata, M.L., Tornambè, G., Avondo, M., Pagano, R., Giambalvo, D., Stringi, L., Di Miceli, G., 2007. Effect of stocking rate on selective behaviour and milk production of Girgentana goats grazing a ryegrass and berseem clover mixture. Options Méditerranéennes Serie A 74, 351–357.

Bonanno, ADRIANA, Di Grigoli, A., Stringi, L., Di Miceli, G., Giambalvo, D., Tornambè, G., Vargetto, D., Alicata, M.L., 2007. Intake and milk production of goats grazing Sulla forage under different stocking rates. Italian J. of Anim. Sci. 6, 605–607.

Bonanno, A., Fedele, V., Di Grigoli, A., 2008. Grazing management of dairy goats on Mediterranean herbacous pastures, in: Dairy Goats Feeding and Nutrition. CABI, Wallingford, UK ; Cambridge, MA, 189–220.

Bossis, N., 2012. Performances économiques et environnementales des systèmes d'élevage caprins laitiers : impacts du pâturage. Fourrages 212, 269–274.

Boval, M., Archimède, H., Fleury, J., Xandé, A., 2003. The ability of faecal nitrogen to predict digestibility for goats and sheep fed with tropical herbage. Journal of Agricultural Science 140, 443–450.

Brocard, V., Jost, J., Rouillé, B., Caillaud, D., Caillat, H., Bossis, N., 2016. Feeding self-sufficiency levels in dairy cow and goat farms in Western France: current situation and ways of improvement. Grassland Science in Europe 21, 53–55.

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

Celaya, R., Moreno-Gonzalo, J., López López, C., Ferreira, L.M.M., García, U., Ferre, I., Osoro, K., 2016. Productive responses of breeding Cashmere goats and their kids to different stocking rates on improved upland pastures. J. Anim. Sci. 94, 1276–1286.

Celaya, R., Oliván, M., Ferreira, L.M.M., Martínez, A., García, U., Osoro, K., 2007. Comparison of grazing behaviour, dietary overlap and performance in non-lactating domestic ruminants grazing on marginal heathland areas. Livest. Sci. 106, 271–281.

Charpentier, A., Delagarde, R., 2018. Milk production and grazing behaviour responses of Alpine dairy goats to daily access time to pasture or to daily pasture allowance on temperate pastures in spring. Small Rumin. Res. 162, 48–56.

Charpentier, A., Mendowski, S., Delagarde, R., 2017. Prediction of in vivo digestibility of pasture-based diets in dairy goats from faecal indicators, in: Grassland Resources for Extensive Farming Systems in Marginal Lands: Major Drivers and Future Scenarios. Proceedings of the

19th Symposium of the European Grassland Federation, Alghero, Italy, 7-10 May 2017, Grassland Science in Europe 22, 533–535.

Collins, H.A., Nicol, A.M., 1987. Diet selection differences between sheep, cattle and goats grazed on similar swards. Proc. 4th Anim. Sci. Congr. Asian-Australasian Assoc. Anim. Prod. Soc., 172.

Collins, H.A., Nicol, A.M., 1986. The consequence for feed dry matter intake of grazing sheep, cattle and goats to the same residual herbage mass. Proc. N.Z. Soc. of Anim. Prod. 46, 125–128.

de Simiane, M., Huguet, L., Masson, C., 1983. Comportement alimentaire des chèvres à l'auge et au pâturage - Aspects liés au fourrage et à l'animal : conséquences sur les performances zootechniques. Journées de la Recherche Ovine et Caprine, INRA-ITOVIC, Paris, France, 71–100.

Delaby, L., Delagarde, R., Peyraud, J.L., 2009. Quelle quantité de compléments distribuer aux vaches laitières lors de temps d'accès limité au pâturage ? Renc Rech Rumin 16, 50.

Delaby, L., Peyraud, J.L., Delagarde, R., 2003. Faut-il complémenter les vaches laitières au pâturage? Prod. Anim. 183–1995.

Delagarde, R., 1997. Facteurs de variation des durées d'ingestion et de rumination des vaches laitières en pâturage rationné. Sources of variation of eating and ruminating time of strip-grazing dairy cows. Renc. Rech. Rum. 4, 90.

Delagarde, R., Belarbre, N., Charpentier, A., 2018a. Accuracy of the ytterbium-faecal index method for estimating intake of pasture-fed dairy goats, in: Sustainable Meat and Milk Production from Grasslands Proceedings of the 27th General Meeting of the European Grassland Federation Cork, Ireland, 17-21 June 2018, Grassland Science in Europe 23, 419–421.

Delagarde, R., Lamberton, P., 2015. Daily grazing time of dairy cows is recorded accurately using the Lifecorder Plus device. Appl. Anim. Behav. Sci 165, 25–32.

Delagarde, R., Pérez-Ramírez, E., Delaby, L., Peyraud, J.L., 2008. Adaptation comportementale et ingestion des vaches laitières soumises à une restriction du temps d'accès journalier au pâturage. Renc. Rech. Rum. 15, 323–326.

Delagarde, R., Pérez-Ramírez, E., Peyraud, J.L., 2010. Ytterbium oxide has the same accuracy as chromic oxide for estimating variations of faecal dry matter output in dairy cows fed a total mixed ration at two feeding levels. Anim. Feed Sci. Technol. 161, 121–131.

Delagarde, R., Peyraud, J.L., 2013. Gérer les variations des apports alimentaires des vaches laitières au pâturage. Prod. Anim. 26, 263–275.

Delagarde, R., Piriou, M., Charpentier, A., 2018b. The recording of grazing time of dairy goats is accurate by using the Lifecorder Plus device, in: Herbivore Nutrition Supporting Sustainable Intensification and Agro-Ecological Approaches. Proceedings of the 10th International

Symposium on the Nutrition of Herbivores, Advances in Animal Biosciences. Clermont-Ferrand, France, 417.

Delagarde, R., Prache, S., D'Hour, P., Petit, M., 2001. Ingestion de l'herbe par les ruminants au pâturage. Fourrages 166, 189–212.

Delagarde, R., Valk, H., Mayne, C., Rook, A., Gonzàlez-Rodriguez, A., Baratte, C., Faverdin, P., Peyraud, J.L., 2011. GrazeIn: a model of herbage intake and milk production for grazing dairy cows. 3. Simulations and external validation of the model. Grass For. Sci. 66, 61–77.

Edwards, G.R., Parsons, A.J., Penning, P., Newman, J.A., 1995. Relationship between vegetation state and bite dimensions of sheep grazing contrasting plant species and its implications for intake rate and diet selection. Grass For. Sci. 50, 378–388.

Faverdin, P., Delagarde, R., Lemosquet, S., Boudon, A., Delaby, L., 2018. Vaches laitières, in: INRA 2018, Alimentation des ruminants, Editions Quae, Versailles, France, 293-298.

Fedele, V., Pizzillo, M., Claps, S., Morand-Fehr, P., Rubino, R., 1993. Grazing behavior and diet selection of goats on native pasture in Southern Italy. Small Ruminant Research 11, 305–322.

Garcia-Rodriguez, A., Oregui, L.M., 2004. Effect of time spent to pasture and protein content of the concentrate on milk yields and body reserves, in: Land Use Systems, in: Grassland Dominated Regions. Proceedings of the 20th General Meeting of the European Grassland Federation, Grassland Science in Europe. Luzern, Switzerland, 9, 662–664.

Ginane, C., Petit, M., 2005. Feeding behaviour and diet choices of cattle with physical and temporal constraints on forage accessibility: an indoor experiment. Anim. Sci. 81, 3–10.

Gong, Y., Lambert, M.G., Hodgson, J., 1996. Effects of contrasting sward heights within forage species on short-term ingestive behaviour of sheep and goats grazing grasses and legumes. New. Zeal. J. Agr. Res. 39, 83–93.

Gregorini, P., 2012. Diurnal grazing pattern : its physiological basis and strategic management. Anim. Prod. Sc. 52, 416–430.

Gregorini, P., Gunter, S.A., Beck, P.A., 2008. Matching plant and animal processes to alter nutrient supply in strip-grazed cattle: Timing of herbage and fasting allocation. J. Anim. Sci. 86, 1006–1020.

Hoste, H., Chartier, C., Le Frileux, Y., 2002. Control of gastrointestinal parasitism with nematodes in dairy goats by treating the host category at risk. Vet. Res. 33, 531–545.

Huguet, L., de Simiane, M., Broqua, B., 1977. Factors affecting green forage intake by the milking goat. Presented at the Proceedings of the 13th International Gassland Congres, Liepzing, Germany, 1549–1552.

Iason, G., Mantecon, A.R., Sim, D.A., Gonzalez, J., Foreman, E., Bermudez, F.F., Elston, D.A., 1999. Can grazing sheep compensate for a daily foraging time constraint ? J. Anim. Ecol. 68, 87–93.

Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), 2010. Alimentation des bovins, ovins et caprins: besoins des animaux, valeurs des aliments, Guide pratique. Editions Quae, Versailles, France. 311p.

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

Keli, A., Ribeiro, L.P.S., Gipson, T.A., Puchala, R., Tesfai, K., Tsukahara, Y., Sahlu, T., Goetsch, A.L., 2017. Effects of pasture access regime on performance, grazing behavior, and energy utilization by Alpine goats in early and mid-lactation. Small Rumin. Res. 154, 58–69.

Kennedy, E., McEvoy, M., Murphy, J.P., O'Donovan, M., 2009. Effect of restricted access time to pasture on dairy cow milk production, grazing behavior, and dry matter intake. J. Dairy Sci. 92, 168–176.

Leaver, J.D., 1985. Milk production from grazed temperate grassland. J. Dairy Res. 52, 313–344.

Lefrileux, Y., Morand-Fehr, P., Pommaret, A., 2012. Aptitude des chèvres hautes productrices de lait à valoriser les prairies temporaires au pâturage. INRA Prod. Anim. 25, 277–290.

Lefrileux, Y., Morand-Fehr, P., Pommaret, A., 2008. Capacity of high milk yielding goats for utilizing cultivated pasture. Small Rumin. Res. 77, 113–126.

Legarto, J., Leclerc, M.C., 2007. Guide pour la conduite du pâturage caprin. Synthèse réalisée dans le cadre du réseau national des techniciens caprins travaillant sur le thème du pâturage, 207p.

Leray, O., Doligez, P., Jost, J., Pottier, E., Delaby, L., 2017. Présentation des différentes techniques de pâturage selon les espèces herbivores utilisatrices. Fourrages 229, 11–16.

Luo, J., Goetsch, A., Nsahlai, I., Moore, J., Galyean, M., Johnson, Z., Sahlu, T, Ferrell, C., Owens, F., 2004. Voluntary feed intake by lactating, Angora, growing and mature goats. Small Ruminant Research 53, 357–378.

McCarthy, B., Delaby, L., Pierce, K.M., Journot, F., Horan, B., 2011. Meta-analysis of the impact of stocking rate on the productivity of pasture-based milk production systems. Animal 5, 784–794.

McMeekan, C.P., Walshe, M.J., 1963. The inter-relationships of grazing method and stocking rate in the efficiency of pasture utilization by dairy cattle. J. Agric. Sci. 61, 147.

Merchant, M., Riach, D.J., 1994. The intake and performance of cashmere goats grazing sown swards. Grass For. Sci. 49, 429–437.

Meuret, M., 1989. Feuillages, fromages et flux ingérés. Mémoire de thèse. Faculté des sciences de Gembloux, Gembloux, Belgique.

Min, B.R., Hart, S.P., Sahlu, T., Satter, L.D., 2005. The effect of diets on milk production and composition, and on lactation curves in pastured dairy goats. J. Dairy Sci. 88, 2604–2615.

Molle, G., Decandia, M., Giovanetti, V., Manca, C., Acciaro, M., Epifani, G., Salis, L., Cabiddu, A., Sitzia, M., Cannas, A., 2017. Grazing behaviour, intake and performance of dairy ewes with restricted access time to berseem clover (*Trifolium alexandrinum* L.) pasture. Grass For. Sci. 72, 194–210.

Molle, G., Decandia, M., Giovanetti, V., Manca, C., Acciaro, M., Epifani, G., Salis, L., Cabiddu, A., Sitzia, M., Cannas, A., 2014. Effects of restricted time allocation to pasture on feeding behaviour, intake and milk production of dairy sheep rotationally grazing Italian ryegrass (Lolium multiflorum Lam) in spring. Anim. Prod. Sc. 54, 1233–1237.

Morand-Fehr, P., 2005. Recent developments in goat nutrition and application: A review. Small Ruminant Research 60, 25–43.

Morand-Fehr, P., 1991. FAO, European Association for Animal Production, International Centre for Advanced Mediterranean Agronomic Studies, Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation (Eds.). Goat nutrition, EAAP publication. Pudoc, Wageningen.

Nahed, J., Castel, J.M., Mena, Y., Caravaca, F., 2006. Appraisal of the sustainability of dairy goat systems in Southern Spain according to their degree of intensification. Livest. Sci. 101, 10–23.

Napoleone, M., Hoste, H., Lefrileux, Y., 2011. The use of grazing pastures in goat production : development of an approach to combine optimized use of forage resource and control of related risks, in: New Trends for Innovation in the Mediterranean Animal Production, EAAP Publication. Wageningen Acad. Publ, Wageningen, 307–316.

National Research Council (NRC), 2007. Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids, and New World camelids. National Academies Press, Washington, D.C. 347 p.

Nielsen, P.P., 2013. Automatic registration of grazing behaviour in dairy cows using 3D activity loggers. Applied Animal Behaviour Science 148, 179–184.

Penning, P., 2004. Animal based techniques for estimating herbage intake, in: Herbage Intake Handbook. British Grassland Society, Reading, 53-93.

Penning, P.D., Hooper, G.E., Treacher, T.T., 1986. The effect of herbage allowance on intake and performance of ewes suckling twin lambs. Grass For. Sci. 41, 199–208.

Penning, P.D., Parsons, A.J., Orr, R.J., Hooper, G.E., 1994. Intake and behaviour responses by sheep to changes in sward characteristics under rotational grazing. Grass For. Sci. 49, 479–486.

Penning, P.D., Parsons, A.J., Orr, R.J., Treacher, T.T., 1991. Intake and behaviour responses by sheep to changes in sward characteristics under continuous stocking. Grass For. Sci. 46, 15–28.

Pérez-Prieto, L.A., 2011. Rôle de la biomasse sur l'ingestion d'herbe, la production de lait et le comportement alimentaire des vaches laitières en pâturage rationné. Mémoire de thèse. Agrocampus Ouest, Rennes.

Pérez-Prieto, L.A., Delagarde, R., 2013. Meta-analysis of the effect of pasture allowance on pasture intake, milk production, and grazing behavior of dairy cows grazing temperate grasslands. J. Dairy Sci. 96, 6671–6689.

Pérez-Prieto, L.A., Peyraud, J.L., Delagarde, R., 2011. Pasture intake, milk production and grazing behaviour of dairy cows grazing low-mass pastures at three daily allowances in winter. Livest. Sci. 137, 151–160.

Pérez-Ramírez, E., Delagarde, R., Delaby, L., 2008. Herbage intake and behavioural adaptation of grazing dairy cows by restricting time at pasture under two feeding regimes. Animal 2, 1384–1392.

Pérez-Ramírez, E., Peyraud, J.L., Delagarde, R., 2012. N-alkanes v. ytterbium/faecal index as two methods for estimating herbage intake of dairy cows fed on diets differing in the herbage : maize silage ratio and feeding level. Animal 6, 232–244.

Pérez-Ramírez, E., Peyraud, J.L., Delagarde, R., 2009. Restricting daily time at pasture at low and high pasture allowance: Effects on pasture intake and behavioral adaptation of lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 92, 3331–3340.

Peyraud, J.L., 1998. Techniques for measuring faecal flow, digestibility and intake of herbage in grazing ruminants, in: Techniques for Investigating Intake and Ingestive Behaviour by Farm Animals. IXth European Intake Workshop, IGER. North Wyke, UK, 39–43.

Peyraud, J.L., 1997. Techniques for measuring herbage intake of grazing ruminants : a review, in: Managing High Yielding Dairy Cows at Pasture. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden, 3–23.

Peyraud, J.L., Delagarde, R., 2013. Managing variations in dairy cow nutrient supply under grazing. Animal 7, 57–67.

Poppi, D.P., Hughes, T.P., L'Huillier, P.J., 1987. Intake of pasture by grazing ruminants, in: Feeding Livestock on Pasture. Nicol, A.M. (Ed.), Hamilton, 55–63.

Prache, S., Peyraud, J.L., 2001. Foraging behaviour and intake in temperate cultivated grasslands, in: Proceedings of the XIXth International Grassland Congress. 309–319.

Ribeiro Filho, H.M.N., Delagarde, R., Peyraud, J.L., 2005. Herbage intake and milk yield of dairy cows grazing perennial ryegrass swards or white clover/perennial ryegrass swards at low- and medium-herbage allowances. Anim. Feed Sci. Technol. 119, 13–27.

Romney, D.L., Sendalo, D.S.C., Owen, E., Mtenga, L.A., Penning, P.D., Mayes, R.W., Hendy, C.R.C., 1996. Effects of tethering management on feed intake and behaviour of Tanzanian goats. Small Rumin. Res. 19, 113–120.

Rubino, R., Moioli, B., Fedele, V., Pizzillo, M., Morand-Fehr, P., 1995. Milk production of goats grazing native pasture under different supplementation regimes in southern Italy. Small Rumin. Res. 17, 213–221.

Rubino, R., Pizzillo, M., Scardella, P., 1988. Confronto tra diversi sistemi di pascolamento in un modello intensivo con capre Maltesi. Agricoltura Ricerca 81, 79–86.

Ruiz, F.A., Mena, Y., Castel, J.M., Guinamard, C., Bossis, N., Caramelle-Holtz, E., Contu, M., Sitzia, M., Fois, N., 2009. Dairy goat grazing systems in Mediterranean regions: A comparative analysis in Spain, France and Italy. Small Rumin. Res. 85, 42–49.

SAS Institute, 2008. SAS/STAT® 9.2 User's Guide. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.

Sauvant, D., Giger-Reverdin, S., 2018. Caprins en lactation et en croissance, in : INRA 2018, Alimentation des ruminants, Editions Quae, Versailles, France, 433-439.

Sauvant, D., Giger-Reverdin, S., Meschy, F., Puillet, L., Schmidely, P., 2012. Actualisation des recommandations alimentaires pour les chèvres laitières. Prod. Anim. 25, 259–276.

Siddons, R.C., Paradine, J., Beever, D.E., Cornell, P.R., 1985. Ytterbium acetate as a particulate-phase digesta-flow marker. British Journal of Nutrition 54, 509–519.

Tovar-Luna, I., Puchala, R., Gipson, T.A., Detweiler, G.D., Dawson, L.J., Sahlu, T., Keli, A., Goetsch, A.L., 2011. Effects of night-locking and stage of production on forage intake, digestion, behavior, and energy utilization by meat goat does grazing grass/legume pasture. Livest. Sci. 140, 225–245.

Valenti, B., Marletta, D., De Angelis, A., Di Paola, F., Bordonaro, S., Avondo, M., 2017. Herbage intake and milk yield in Comisana ewes as effect of 4 vs 7 h of grazing during late lactation. Trop. Anim. Health Prod. 49, 989–994.

Van Quackebeke, E., Lefrileux, Y., Pommaret, A., 1997. Comparaison de deux modes d'exploitation de prairies à base de graminées au printemps par les chèvres laitières. Renc. Rech. Rum. 4, 154.

van Soest, P.J., Roberson, J.B., Lewis, B.A., 1991. Carbohydrate methodology, metabolism, and nutritional implications in dairy cattle. J. Dairy Sci., 2215–2225.

Vasta, V., Pagano, R.I., Luciano, G., Scerra, M., Caparra, P., Foti, F., Cilione, C., Biondi, L., Priolo, A., Avondo, M., 2012. Effect of morning vs. afternoon grazing on intramuscular fatty acid composition in lamb. Meat Sci. 90, 93–98.

Vázquez Diosdado, J.A., Barker, Z.E., Hodges, H.R., Amory, J.R., Croft, D.P., Bell, N.J., Codling, E.A., 2015. Classification of behaviour in housed dairy cows using an accelerometer-based activity monitoring system. Animal Biotelemetry 3:15,1-14.

Wolfger, B., Timsit, E., Pajor, E.A., Cook, N., Barkema, H.W., Orsel, K., 2015. Technical note: Accuracy of an ear tag-attached accelerometer to monitor rumination and feeding behavior in feedlot cattle1. Journal of Animal Science 93, 3164–3168.

Annexes

Annexe 1 : Calibration et validation à l'auge de la méthode de calcul de l'ingestion d'herbe chez la chèvre laitière au pâturage

Au démarrage de cette thèse, il n'existait pas de méthode validée d'estimation de l'ingestion des chèvres sur prairies. La méthode générique utilisée pour tous les ruminants depuis plus de 50 ans consiste à estimer l'ingestion au pâturage (I) à partir de la quantité de fèces excrétée (F) et de la digestibilité de la ration (D), selon la formule suivante, issue de la définition même de la digestibilité apparente :

$$\mathbf{I = F/(1-D).}$$

Nous avons choisi dans le cadre de cette thèse l'utilisation de l'oxyde d'ytterbium (Yb) pour estimer la quantité de fèces excrétée quotidiennement (F) et la méthode indirecte des index fécaux (Peyraud, 1997 ; Penning, 2004) pour prévoir la digestibilité (D), méthodes utilisées et maîtrisées pour estimer l'ingestion des vaches laitières au pâturage (Delagarde et al., 2010 ; Pérez-Ramírez et al., 2012). Il s'agissait donc de vérifier que l'Yb est bien un marqueur indigestible chez la chèvre laitière (récupération totale de l'Yb distribué dans les fèces) et de développer une équation de prévision de la digestibilité à partir de la composition des fèces, valable dans une large gamme de types de rations à base d'herbe fraîche. La méthode des alcanes développée par Mayes et al. (1988) n'a pas été retenue dans le cadre de cette thèse en raison de l'utilisation de prairies multi-spécifiques dans nos études expérimentales et du fait que la méthode alcanes n'est pas adaptée dans ce cas-là en raison d'une impossibilité à estimer avec précision le profil en alcanes de la fraction d'herbe ingérée par chaque chèvre, pourtant essentielle au calcul de l'ingestion individuelle (Pérez-Prieto, 2011).

Matériels et méthodes

Six essais ont été réalisés à la station expérimentale INRA de Méjusseaume (UMR PEGASE, Le Rheu, 35) entre 2014 et 2017 (**Tableau A.1**) avec 6 chèvres Alpine par essai. L'objectif de ces essais a été de déterminer l'ingestion volontaire, la digestibilité *in vivo*, le taux de récupération de l'Yb et la composition chimique des fèces chez des chèvres laitières nourries avec une large gamme de qualité et de composition de rations et de niveau alimentaire afin de mimer les conditions éventuellement rencontrées au pâturage.

Tous les essais ont eu lieu selon un carré latin répété 2 ou 3 fois avec 3 ou 4 périodes successives de 14 jours, sauf l'essai 4 qui a eu lieu en continu sur 3 périodes (**Tableau A.1**). Le fourrage distribué a été du foin de qualité moyenne dans l'essai 1, de l'herbe fraîche d'une prairie multi-spécifique (graminées, chicorée, pissenlit, trèfle) dans les essais 2, 5 et 6 et de l'herbe fraîche d'une prairie de graminées dans l'essai 4. L'herbe était récoltée tous les matins et distribuée en 4 repas par chèvre et par jour. Les compléments étaient distribués à chaque traite. Chaque chèvre a reçu 0,13 g/j d'Yb dans un concentré distribué à chaque traite (30 g/j de concentré contenant 0,5% d'oxyde d'Yb). Les chèvres étaient maintenues dans des boxes de digestibilité durant la durée des essais permettant les mesures d'ingestion

individuelle et la collecte totale des fèces. Les chèvres étaient taries dans l'essai 1, en monotraite dans l'essai 2 et en bi-traite dans les essais 3, 4, 5 et 6. La quantité de MS de fourrage et de compléments distribuée et refusée, ainsi que la quantité de MS de fèces excrétée ont été mesurées les 5 derniers jours de chaque période. La teneur en MS et la composition chimique (MO, N, NDF, ADF) de l'herbe réellement ingérée (analyses de l'offert et des refus) et des fèces ont été déterminées dans tous les essais.

Tableau A.1 Présentation des essais de validation des mesures d'estimation de l'ingestion

Essais	1	2	3	4	5	6
Dates	09/05/2014 - 04/07/2014	02/10/2015 - 13/11/2015	15/03/2016 - 13/05/2016	25/04/2016 - 24/06/2016	31/03/2017 - 27/04/2017	05/05/2017 - 30/06/2017
Périodes (2 semaines)	4	3	3	3	2	4
Facteur testés	Niveau alimentaire et quantité de concentré	Niveau alimentaire et quantité de concentré	Niveau alimentaire et quantité de concentré	Age des repousses et quantité de concentré	Apport de luzerne déshydratée	Apport de luzerne déshydraté et âge des repousses
Traitements	F80 : Foin à 80% F130 : Foin à 130% C80 : 500 g de concentré + Foin à 80% C130 : 500 g de concentré + Foin à 130%	H : Herbe verte HC : Herbe verte + 500 g de concentré HRC : Herbe Restreinte à 80% + 500 g de concentré	H : Herbe verte HC : Herbe verte + 600 g de concentré HRC : Herbe Restreinte à 80% + 600 g de concentré	H : Herbe verte HC : Herbe verte + 600 g de concentré	HC : Herbe verte + 600 g de concentré HCD : Herbe verte + 600 g de concentré + 400 g de luzerne déshydratée	J : Herbe Jeune A : Herbe âgée JD : Herbe Jeune + 400 g de luzerne déshydratée AD : Herbe âgée + 400 g de luzerne déshydratée
Schéma expérimental	Carré latin 4 x 4	Carré latin 3 x 3	Carré latin 3 x 3	Schéma en continu, avec 3 chèvres pour chaque traitement durant tout l'essai	Schéma en inversion 2 x 2 répété 3 fois	Carré latin 4 x 4
Animaux	6 chèvres taries	6 chèvres en fin de lactation, monotraite	6 chèvres en milieu de lactation	6 chèvres en milieu de lactation	6 chèvres en milieu de lactation	6 chèvres en milieu de lactation

I. Prévision de la digestibilité in vivo de régimes à base d'herbe chez les chèvres laitières à partir des index fécaux

Régimes herbe + concentrés

Une fois les données des différents essais (essais 2 à 4) regroupés et moyennés par essai × traitement × période, plusieurs régressions multiples ont été effectuées pour déterminer la meilleure équation de prévision de la digestibilité de la MO (dMO) à partir des indicateurs fécaux et du régime.

Il en est ressorti une relation inverse et forte entre les teneurs en MAT des fèces et la dMO avec un écart-type résiduel de 0,013 lorsque la variable est considérée seule, et de 0,012

lorsque l'on ajoute comme variable le rapport entre la teneur en MAT de la ration et celle des fèces.

Eq. 3 $dMO = 0,895 – 2,24/MAT_F$ n = 23, Etr = 0,013, $R^2 = 0,61$

Eq. 4 $dMO = 0,939 – 2,44/MAT_F – 0,0445 \times MAT_R/MAT_F$ n = 23, Etr = 0,012, $R^2 = 0,69$

Avec MAT_R et MAT_F les teneurs en MAT du régime et des fèces, respectivement (en g/100 g MO), et dMO la digestibilité de la MO de la ration (en g/g).

La teneur en ADF des fèces n'a pas eu d'effet significatif, contrairement à des études précédentes en bovins (Penning, 2004 ; Ribeiro Filho et al., 2005) mais est en cohérence avec les résultats obtenus en chèvres à viande (Boval et al., 2003 ; Schlecht et Susenbeth, 2006).
L'effet du concentré et du niveau d'alimentation ont été testés par analyse de covariance et ne sont pas significatifs non plus, ce qui suggère que l'équation de prévision est assez générique pour être utilisée avec des doses de concentré et des pressions de pâturage diverses.

Les résultats de ces travaux ont fait l'objet d'un poster à l'EGF 2017 (article joint à la fin de cette annexe) :
Charpentier A, Mendowski S and Delagarde R 2017. Prediction of in vivo digestibility of pasture-based diets in dairy goats from faecal indicators. In Grassland resources for extensive farming systems in marginal lands: major drivers and future scenarios. Proceedings of the 19th Symposium of the European Grassland Federation, Alghero, Italy, 7-10 May 2017, Grassland Science in Europe 22, 533–535.

Régimes herbe + concentrés + luzerne déshydratée

En 2017, nous avons voulu tester l'apport de luzerne déshydratée sur la digestibilité du régime et sur la précision de l'équation 4, puisque la luzerne déshydratée a été utilisée dans les essais au pâturage sur le temps d'accès. En moyenne sur les deux essais, il a été mesuré une réduction de digestibilité de la MO de 3,5 points entre les régimes sans et avec luzerne déshydratée. Or, l'Eq. 4 ne prévoit qu'une réduction de 1,7 points de dMO entre ces deux régimes, soit seulement 50 % de l'effet observé (Belarbre, 2017). L'introduction de luzerne déshydratée a aussi modifié la teneur en ADF des fèces, et la relation entre la teneur en MAT des fèces et la dMO, sans possibilité d'obtenir une régression multiple générique pertinente pour tous les régimes.
Il a donc été nécessaire de réviser les régressions multiples obtenues sur régimes herbe+concentrés, en incluant le facteur apport de déshydraté dans le régime, toujours sur la base de données des essais 2 à 6, sur les moyennes par essai × traitement × période (analyses de covariance).
La régression la plus satisfaisante a été la suivante :

Eq. 5 $\mathbf{dMO = 0,922 + (- 0,0194 + \Delta)/MAT_F – 0,445 \times (ADF_F)^2}$ n = 41, Etr = 0,017, $R^2 = 0,82$

Où $\Delta = -0,00192$ dans le cas d'une ration avec apport de luzerne déshydratée ; $\Delta = + 0,00192$ dans le cas d'une ration sans apport de luzerne déshydratée ; MAT_R et ADF_F sont les teneurs en MAT et en ADF des fèces, respectivement (en g/g MO), et dMO la digestibilité de la MO de la ration (en g/g).

Tout comme dans les Eq. 3 et 4 obtenues sur les régimes Herbe + concentrés, nous obtenons une relation inverse entre la dMO et la teneur en MAT des fèces (Eq. 5). Le ratio MAT_R/MAT_F n'est plus significatif, et c'est la teneur en ADF des fèces au carré qui permet de prévoir le mieux la dMO. Dans cette équation, l'effet du déshydraté est significatif et vient interagir sur la pente entre la dMO et la MAT_F. Dans cette équation, mis à part la présence ou l'absence de déshydraté, aucun facteur relatif à la composition du régime n'est significatif (niveau alimentaire, apport de concentré), ce qui permet de garder la généricité de l'équation de prévision. L'effet significatif de la teneur en ADF des fèces est cohérent avec les précédentes études en bovins (Penning, 2004 ; Ribeiro Filho et al., 2005).

En conclusion, l'équation proposée permet de prévoir avec une précision satisfaisante (etr = 0.017) la dMO de régimes à base d'herbe, qui est donc applicable à une large variété de situations de pâturage (pression de pâturage, âge de repousse, complémentation variable en concentrés et en luzerne déshydratée).

Prediction of *in vivo* digestibility of pasture-based diets in dairy goats from faecal indicators

Charpentier A.[1,2], Mendowski S.[1] and Delagarde R.[1]
[1]*PEGASE, INRA, Agrocampus Ouest, 35590 Saint-Gilles, France;* [2]*FERLUS, INRA, 86600 Lusignan, France*

Abstract

For estimating quality and intake of pasture herbage by grazing goats, estimation of herbage digestibility is often required. The aim of this work was to predict *in vivo* organic matter digestibility (OMD) of diets based on temperate pasture forage from faecal composition (CP mainly). A series of indoor experiments was carried out with goats fed on grass hay or with fresh herbage cut daily and given either *ad libitum* or in restricted amounts, to mimic the effect of pasture herbage availability. Concentrate supplementation level and regrowth age of the herbage were also studied in order to achieve a wide range of diets composition and quality. Intake of each feed, and of faecal output (total collection), were measured precisely during 5 consecutive days in each experimental period. For each dataset (fresh pasture herbage only or fresh pasture herbage + hay), there was a strong and inverse relationship between OMD and faecal crude protein (CP) concentration. Including dietary CP concentration in the regression allowed increased accuracy of the prediction. The proposed equations, relevant for good quality pastures, show a good continuum with previous published equations on goats fed on much less digestible tropical, Mediterranean or Sahelian forages.

Keywords: goat, digestibility, pasture, faecal nitrogen, prediction

Introduction

Reliable methods for determining individual daily intake of herbage from pasture are needed for predicting variations of nutrient intake in grazing dairy goats. One of the main techniques is the 'faecal output/digestibility' method (Penning, 2004), intake being calculated from the ratio between daily faecal output and the indigestible fraction of the diet. Faecal output is often estimated from the dilution of an indigestible external marker, while digestibility is often determined *in vitro* or from faecal composition, mainly from faecal nitrogen concentration (Penning, 2004). Several predictive equations of *in vivo* digestibility exist for cattle (Penning, 2004; Ribeiro Filho *et al.*, 2005) and sheep (Chenost *et al.*, 1985) fed on good quality forages, for meat goats fed on tropical (Boval *et al.*, 2003) or sahelian (Schlecht and Susenbeth, 2006) forages, but not for dairy goats fed on good-quality pastures. The objective of this work was to develop an accurate predictive equation of *in vivo* diet digestibility based on faecal indicators in dairy goats fed on good-quality forages, including fresh pasture.

Materials and methods

A series of 4 trials was carried out at the INRA-PEGASE experimental farm of Méjusseaume (Le Rheu, Brittany, France) between spring 2014 and spring 2016 to determine voluntary intake, *in vivo* digestibility and faecal composition of Alpine goats fed under a large range of diet quality, diet composition, and intake level, which mimic what could happen under grazing conditions. The forage fed was grass hay of medium quality in trial 1 (Spring 2014), fresh herbage from a multi-species pasture including grasses, clovers, chicory and dandelion in trial 2 (Autumn 2015) and fresh grass-based pasture herbage in trials 3 and 4 (Spring 2016). Fresh herbage was cut once daily before feeding as 4 meals per day to goats. Three to four nutritional treatments were compared within each experiment, varying by the level of allocation of the forage (130 to 80% of *ad libitum* intake level determined before the start of the experiment), by the level of supplementation (no supplement to 600 g/day of a pelleted concentrate containing 220 g of crude protein (CP) kg^{-1} dry matter (DM)), and by the regrowth age of the freshly cut pasture herbage (from

young and leafy to aged and stemmy). Experimental designs were Latin squares repeated 2 to 3 times, with 3 to 4 successive periods of 14 days, and six Alpine goats per trial. Goats were dry in trial 1, milked once-a-day in trial 2, and milked twice-a-day in trials 3 and 4. Goats were maintained in digestibility boxes allowing individual measurement of intake and total faecal collection. The amount of forage and concentrate DM offered and refused, and the amount of faecal DM output were measured during the last 5 days of each period. Amount of DM, organic matter (OM), N, neutral detergent fibre (NDF) and average daily gain (ADF) eaten (offered minus refused) and excreted in faeces were determined, allowing to calculate *in vivo* diet OM digestibility (OMD) and faecal and diet nutrients concentrations. Multiple regressions were performed on data averaged per trial × treatment × period to find the best equations predicting OMD from faecal and diet indicators. Two datasets were considered: hay + fresh pasture herbage (HP dataset, n=39), or fresh pasture herbage only (P dataset, n=23). Specific effects of concentrate supplementation (with or without) or intake level (*ad libitum* or restricted) were tested through covariance analyses.

Results and discussion

The OMD averaged 0.694 for hay-based diets and 0.796 for fresh pasture-based diets. Large ranges in OMD, intake, faecal output, and diet and faeces CP concentrations were observed (Table 1). There was a strong and inverse relationship between OMD and faecal CP concentration (Table 2 and Figure 1), with 0.021 and 0.013 of residual standard error of the regression when this variable is considered alone, in the HP and P databases, respectively. Taking also into account in the regression of the ratio diet/faecal CP concentrations (Penning, 2004; Ribeiro Filho *et al.*, 2005) allowed increased the accuracy of the prediction in both databases. These regressions established with temperate forages showed a good continuum with existing regressions on goats fed on tropical (Boval *et al.*, 2003), Mediterranean or Sahelian forages (Schlecht and Susenbeth, 2006); nonetheless these forages are much less digestible than those of this study (Figure 2). Faecal ADF concentration had no significant effect on OMD provided that diet CP concentration is taken into account, contrary to previous studies with cattle (Penning, 2004; Ribeiro Filho *et al.*, 2005), but in good agreement with studies on meat goats (Boval *et al.*, 2003; Schlecht and Susenbeth, 2006). The effects of concentrate supplementation level or of intake level were never significant. This suggests that the predictive equations are sufficiently generic to be used in grazing

Table 1. Description of the dataset relating diet and faecal characteristics to *in vivo* diet organic matter (OM) digestibility in dairy goats fed on pasture-based diets (n=39).[1]

Variable	Unit	Mean	Min	Max	SD	CV
Total intake	g DM d^{-1}	1712	808	2597	518	30%
Diet OM digestibility	g g^{-1}	0.754	0.636	0.826	0.057	8%
Diet CP concentration	g kg^{-1} OM	166	94	235	41	25%
Faecal CP concentration	g kg^{-1} OM	199	127	262	47	24%

[1] CP = crude protein; SD = standard deviation; CV = coefficient of variation.

Table 2. Parameters of main equations predicting *in vivo* diet OM digestibility from faecal and diet characteristics in dairy goats fed on pasture-based diets.[1]

Dataset		Intercept	1/FCP	DCP/FCP	R^2	RSD
Hay + fresh pasture (n=39)	Eq. 1	0.959	-3.83		0.86	0.021
	Eq. 2	1.012	-3.65	-0.074	0.88	0.019
Fresh pasture (n=23)	Eq. 3	0.895	-2.24		0.61	0.013
	Eq. 4	0.939	-2.44	-0.0445	0.69	0.012

[1] FCP and DCP are the faecal and diet crude protein concentration, in g 100 g^{-1} organic matter, respectively). RSD = relative standard deviation.

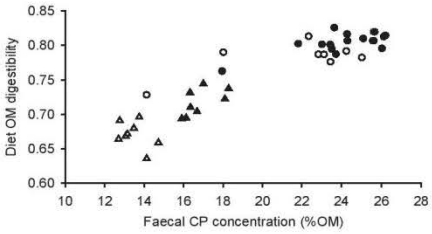

Figure 1. Relationship between faecal crude protein (CP) concentration and organic matter (OM) digestibility on dairy goats fed on pasture (triangles: hay; circles: fresh pasture herbage) with (black symbols) or without (white symbol) concentrate supplementation.

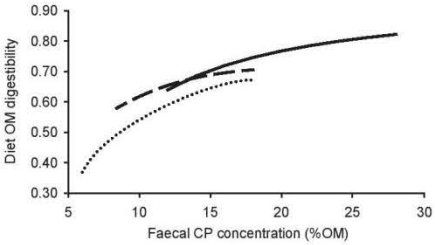

Figure 2. Relationship between faecal crude protein (CP) concentration and organic matter (OM) digestibility on goats fed on forages (——: this study, Eq. 1; - - -: tropical pastures, Boval *et al.*, 2003; ····: sahelian forages, Schlecht and Susenbeth, 2006).

situations with various concentrate supplementation levels and various grazing pressure. The fact that concentrate supplementation does not affect the relationship between faecal CP concentration and digestibility has been already observed by Chenost *et al.* (1985) on sheep fed on diets based on fresh pasture herbage.

Conclusions

The inverse relationship observed between OMD and faecal CP concentration seem generic enough to be used under a large range of grazing situations, but larger databases are needed to achieve more precision, particularly considering the large range of pasture type and supplement type used. The proposed equations, developed and relevant for temperate pastures, show a good continuum with previous published equations on goats fed on tropical, Mediterranean or Sahelian forages, nonetheless much less digestible.

Acknowledgements

The PSDR Grand Ouest (project Fleche) is gratefully acknowledged for its financial support.

References

Boval M., Archimède H., Fleury J. and Xandé A (2003) The ability of faecal nitrogen to predict digestibility for goats and sheep fed tropical herbage. *Journal of Agricultural Science* 140, 443-450.

Chenost M., Grenet E., Demarquilly C. and Béranger C. (1985) Influence of supplementation on herbage digestibility and on faeces characteristics with sheep. In: *Proceedings of the 15th International Grassland Congress, Kyoto, Japan,* pp. 985-986.

Penning P.D. (2004) Animal based techniques for estimating herbage intake. In: Penning P.D. (ed.) *Herbage intake handbook.* British Grassland Society, UK, pp. 53-93.

Ribeiro-Filho H.M.N., Delagarde R. and Peyraud J.L. (2005) Herbage intake and milk yield of dairy cows grazing perennial ryegrass swards or white clover/perennial ryegrass swards at low- and medium-herbage allowances. *Animal Feed Science and Technology* 119, 13-27.

Schlecht E. and Susenbeth A. (2006) Estimating the digestibility of Sahelian roughages from faecal crude protein concentration of cattle and small ruminants. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 90, 369-379.

II. Précision de la méthode Ytterbium/index fécaux pour estimer l'excrétion et l'ingestion d'herbe des chèvres laitières

A partir des essais 1 à 4, décrits au **Tableau A.1**, l'ingestion totale de fourrage a été estimée à partir de la concentration fécale en Yb et en supposant un taux de récupération de l'Yb de 1,0, et de la digestibilité du régime estimée selon l'Eq. 4 (Charpentier et al., 2017). La capacité de la méthode Yb/index fécaux à prévoir de façon précise l'ingestion de fourrage, l'ingestion totale, l'excrétion fécale, et la digestibilité du régime, a été estimée sur la base complète des essais 1 à 4 (n = 72 données chèvre × période), grâce au calcul de l'Erreur Moyenne de Prévision (EMP) et sa décomposition en trois composantes : biais sur la moyenne, biais sur la pente, et variation aléatoire (Bibby et Toutenburg, 1977).

Tableau A.2 Précision de la méthode Yb/index fécaux pour estimer l'ingestion de fourrage (g MS/j), l'excrétion fécale de MO (g MO/j), la digestibilité de la MO du régime (dMO) et l'inverse de la fraction indigestible du régime (1/(1 - dMO)) chez les chèvres laitières nourries au foin ou à l'herbe fraîche (n=72).

Variable	Mesurée	Estimée	R^2	EMP	EMPr	Pourcentage CMEP		
						Moy.	Pente	Aléa
MS fourrage ingérée	1515 ± 548	1518 ± 584	0,96	111	7,4	0	17	83
MS totale ingérée	1823 ± 553	1826 ± 580	0,96	111	6,1	0	11	89
MO excrétée	378 ± 93	374 ± 90	0,92	27	7,1	2	0	98
dMO	0,762 ± 0,055	0,762 ± 0,052	0,89	0,018	2,4	0	0	100
1/(1 - dMO)	4,41 ± 0,91	4,37 ± 0,83	0,88	0,32	7,3	1	1	98

EMP, Erreur Moyenne de Prévision ; EMPr, Erreur Moyenne de Prévision réduite, exprimée en pourcentage de la moyenne ; CMEP, Carré Moyen de l'Erreur de Prévision

La régression entre l'estimation et la mesure de l'ingestion de fourrage et de ses composantes (excrétion fécale et digestibilité du régime) montre de fortes corrélations (R^2 entre 0,88 et 0,96) et de faibles erreurs de prévision moyennes (EMPr comprises entre 0,02 et 0,07), donc une bonne précision de la méthode (**Tableau A.2**). Le fait que l'EMP réduite de l'excrétion fécale et de l'inverse de la fraction indigestible du régime soit toutes les deux proches de 0.07, suggère que l'erreur dans l'estimation de l'ingestion provient des deux parties de l'équation en proportion égale.

Pour toutes les variables, l'erreur est surtout aléatoire et ne provient pas d'un biais sur la moyenne ou sur la pente, ce qui est satisfaisant (pas de source de biais identifiée). Le taux de récupération de l'Yb a été en moyenne de 1,01 ± 0,069 entraînant l'absence de biais sur la moyenne et une faible variabilité de l'estimation de l'excrétion fécale. La variabilité du taux de récupération (CV = 7%) est similaire à celle observée en vaches laitières (Pérez-Ramírez et al., 2012).

Pour conclure, le taux de récupération total de l'Yb, sa faible variabilité, ainsi que la pertinence de l'équation de prévision de la dMO rendent la méthode Yb/index fécaux précise pour l'estimation de la variation de l'ingestion de fourrage vert chez les chèvres laitières. Cette méthode peut être utilisée pour estimer l'ingestion des chèvres laitières

pâturant des prairies multi-spécifiques avec ou sans complémentation en concentré. Cette approche par calcul de l'EMPr reste à faire pour les essais avec distribution de luzerne déshydratée, et devrait conclure à une précision légèrement moins bonne, l'équation de prévision de la dMO étant un peu moins précise.

Les résultats de ces travaux ont fait l'objet d'une communication courte à l'EGF 2018 :
Delagarde R, Belarbre N and Charpentier A 2018. Accuracy of the ytterbium-faecal index method for estimating intake of pasture-fed dairy goats. In Sustainable meat and milk production from grasslands Proceedings of the 27th General Meeting of the European Grassland Federation Cork, Ireland, 17-21 June 2018, Grassland Science in Europe 23, 419–421.

Accuracy of the ytterbium-faecal index method for estimating intake of pasture-fed dairy goats

Delagarde R.[1], Belarbre N.[1] and Charpentier A.[1,2]
[1]*PEGASE, INRA Agrocampus Ouest, 16 Le Clos, 35590 Saint-Gilles, France;* [2]*FERLUS, INRA, Les Verrines, 86600 Lusignan, France*

Abstract

There is no validated method for estimating pasture intake of dairy goats receiving concentrates and grazing on multispecies swards. The objective of this study was to determine the accuracy of a method based on estimates of faecal output (from ytterbium (Yb) oxide dilution), and of diet digestibility (from faecal N concentration). Four indoor experiments with six goats each were carried out between 2014 and 2016, comparing several feeding management factors: concentrate supplementation level, diet feeding level and pasture regrowth age. Actual daily intake, faecal output, *in vivo* diet digestibility, faecal N concentration and faecal recovery rate of Yb were determined individually over five days at the end of each period. Pasture intake was also estimated from faecal N and Yb concentrations. The relative mean prediction error between actual and estimated pasture intake was low (7%), with no line or mean biases, and a faecal Yb recovery close to 1.0. Random error came equally from the estimates of faecal output and of indigestibility. It is concluded that the Yb-faecal index method is accurate and suitable for estimating pasture intake of dairy goats grazing on multispecies swards whether or not supplemented with concentrate.

Keywords: goat, pasture, intake, methodology, ytterbium

Introduction

Grazing systems may be used to increase self-sufficiency and sustainability of dairy goat farms in the oceanic regions of France (Bossis, 2012). The lack of knowledge in relation to grazing dairy goat nutrition, however, precludes greater grazing utilisation. A reliable method for estimating daily pasture intake is needed for predicting variations of nutrient intake in grazing dairy goats under varying grazing and supplementation management practices. Two main generic methods for estimating individual pasture intake exist, one called the 'faecal output/digestibility' method (Penning, 2004) and the other the '*n*-alkanes' method (Mayes *et al.*, 1986). Grazing goats are generally offered multispecies swards, for which the *n*-alkanes method may be inaccurate due to the difficulty for estimating *n*-alkanes profile of the selected pasture. In the 'faecal output/digestibility' method', total intake (I) is calculated from the ratio between daily faecal output (F) and the indigestible fraction of the diet (1 - OMD), according to $I = F \times (1 / (1 - OMD))$. Pasture intake is then calculated by subtracting known supplement intake from total intake. Ytterbium (Yb) oxide may be considered as a good indigestible external marker for estimating faecal output (Pérez-Ramírez *et al.*, 2012). Recently, specific equations were developed for estimating diet OM digestibility from faecal N concentration in dairy goats fed on fresh forage (Charpentier *et al.*, 2017). The objective of this work was to determine the accuracy of the Yb-faecal index method for estimating forage intake of dairy goats fed indoors with conserved or fresh forage, across a large range of feeding strategies.

Materials and methods

Four trials were carried out in which forage distribution level (130 vs 80% of *ad libitum* intake level, determined before the start of each trial), concentrate supplementation level (no supplement vs 600 g day^{-1} of a pelleted concentrate), and age of regrowth of the pasture (from young and leafy pasture to aged and stemmy pasture) were the factors tested, with three or four treatments compared per trial. Trials were

carried out at the INRA farm of Méjusseaume (Le Rheu, France), with six Alpine dairy goats per trial. Experimental designs were latin squares repeated two to three times, with three to four successive periods of 14 days, with measurements made the last week of each period. The basal forage fed was grass hay in trial 1 (Spring 2014), fresh multispecies pasture including grasses, clovers, chicory and dandelion in trial 2 (Autumn 2015) and fresh grass-based pasture in trials 3 and 4 (Spring 2016). Fresh pasture was cut once daily before feeding in four meals offered daily to goats. Goats were dry in trial 1, in late lactation and milked once a day in trial 2, and in mid-lactation and milked twice a day in trials 3 and 4. Goats were maintained in digestibility boxes allowing individual measurement of actual DM intake, faecal output and diet *in vivo* OM digestibility during five day total faecal collection periods (Charpentier *et al.*, 2017). Each goat received 0.13 g d^{-1} of Yb_2O_3, at each milking, mixed in a specific Yb-concentrate (15 g d^{-1}). Total and forage (hay or pasture) intake were estimated from faecal output assuming an Yb faecal recovery of 1.0, and from diet digestibility, estimated from faecal and diet CP concentrations according to specific goat predictive equations (Charpentier *et al.*, 2017). The ability of the Yb-faecal index method to accurately predict the actual values of forage and total intake, faecal output, as well as diet digestibility and indigestible fraction, was estimated on the entire database (n = 72 goat × period data), through the calculation of the mean prediction error (MPE) and its decomposition into three components: mean bias, line bias and random variation (Bibby and Toutenburg, 1977).

Results and discussion

In the entire database, actual forage intake, faecal output and diet OM digestibility ranged from 0.56 to 2.56 kg DM d^{-1}, from 0.18 to 0.60 kg OM d^{-1}, and from 0.636 to 0.832, respectively. The average and standard deviation of actual and estimated forage intake, total intake, faecal output, diet digestibility and diet indigestible fraction were very close, showing no overall bias of the method for estimating intake (Table 1).

Moreover, the regressions of estimated versus actual forage intake and their components (faecal output and diet digestibility) show high correlations (R^2 from 0.88 to 0.96) and low mean prediction errors (relative MPE from 0.02 to 0.07) (Table 1 and Figure 1). A relative MPE of only 0.07 clearly indicates a very accurate method. The similar relative MPE for faecal output and for the inverse of the diet indigestible fraction, both close to 7%, suggest that the error in estimating forage intake came equally from the two parts of the equation. Whatever the variable, the main source of error is random, with no overall mean or line bias (Table 1). For faecal output, this result should be directly related to the Yb faecal recovery rate that averaged 1.01 ± 0.069, meaning no bias and low variability of the faecal output estimation. This variability in Yb faecal recovery is similar to that already observed in dairy cows (Pérez-Ramírez *et al.*, 2012). The good ability of the faecal index equation to predict actual diet OM digestibility is due to the fact that the equation was calibrated from the same database, from data averaged per treatment and period (Charpentier and Delagarde, 2017). A lower accuracy of the intake prediction with other types

Table 1. Accuracy of the Yb-faecal index method for estimating actual DM intake (g d^{-1}), faecal OM output (g d^{-1}), diet OM digestibility (OMD), and the inverse of the indigestible fraction of the diet (1/(1 - OMD)) in dairy goats fed hay or fresh forage-based diets (n = 72).[1]

Variable	Actual	Estimated	R^2	MPE	MPEr	Percentage of MSPE		
						Mean	Line	Random
Forage DM intake	1,515 ± 548	1,518 ± 584	0.96	111	7.4	0	17	83
Total DM intake	1,823 ± 553	1,826 ± 580	0.96	111	6.1	0	11	89
Faecal OM output	378 ± 93	374 ± 90	0.92	27	7.1	2	0	98
OMD	0.762 ± 0.055	0.762 ± 0.052	0.89	0.018	2.4	0	0	100
1/(1 - OMD)	4.41 ± 0.91	4.37 ± 0.83	0.88	0.32	7.3	1	1	98

[1] MPE: mean prediction error, same unit as the corresponding variable; MPEr: relative MPE, in % of actual mean; MSPE: mean square prediction error (Bibby and Toutenburg, 1977).

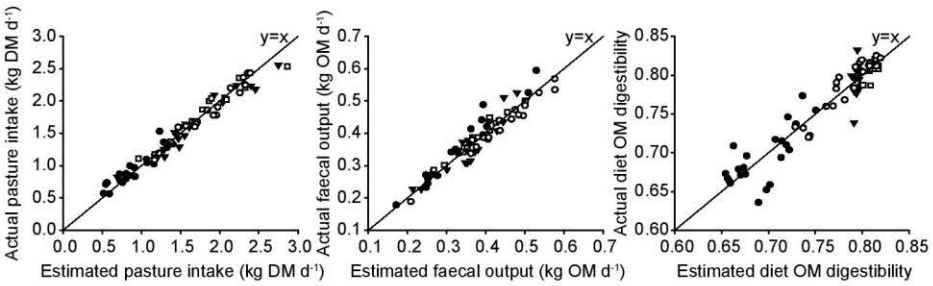

Figure 1. Relationship between actual and estimated values for (a) forage DM intake, (b) faecal output, and (c) 1/(1-OMD), when measured in dairy goats fed indoors on hay or fresh pasture-based diets (● trial 1, ▼ trial 2, □ trial 3, ○ trial 4) (n = 72).

of fresh forages or supplements could be expected but the digestibility predictive equations may always be improved from new calibration indoor experiments.

Conclusion

The complete faecal recovery of Yb independent of feeding regime and the suitability of the equation predicting diet OM digestibility make the Yb-faecal index method accurate for estimating pasture intake variations of dairy goats fed on forage-based diets. This method may be used for estimating intake of dairy goats grazing on multispecies swards and supplemented or not with concentrate.

Acknowledgements

The PSDR Grand Ouest (Fleche project) is gratefully acknowledged for its financial support. The PhD of A. Charpentier was financed by the Nouvelle Aquitaine region and by INRA.

References

Bibby J. and Toutenburg H. (1977) *Prediction and improved estimation of linear models*. Whiley, London, UK.

Bossis N. (2012) Performances économiques et environnementales des systèmes d'élevage caprins laitiers: impacts du pâturage. *Fourrages* 212, 269-274.

Charpentier A. and Delagarde R. (2017) Prediction of *in vivo* digestibility of pasture-based diets in dairy goats from faecal indicators. *Grassland Science in Europe* 22, 533-535.

Mayes R.W., Lamb C.S. and Colgrove P.M. (1986) The use of dosed and herbage n-alkanes as markers for the determination of herbage intake. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 107, 161-170.

Penning PD (2004) Animal-based techniques for estimating herbage intake. *Herbage Intake Handbook* (Ed. Penning P.D.), British Grassland Society, UK, pp 53-93.

Pérez-Ramírez E., Peyraud J.L. and Delagarde R. (2012) *N*-alkanes v. ytterbium/faecal index as two methods for estimating herbage intake of dairy cows fed on diets differing in the herbage : maize silage ratio and feeding level. *Animal* 6, 232-244.

Annexe 2 : Précision de l'enregistrement du temps de pâturage grâce au Lifecorder Plus

Delagarde, R., Piriou, M., Charpentier, A., 2018. The recording of grazing time of dairy goats is accurate by using the Lifecorder Plus device, in: Herbivore Nutrition Supporting Sustainable Intensification and Agro-Ecological Approaches. Proceedings of the 10th International Symposium on the Nutrition of Herbivores, Advances in Animal Biosciences. Clermont-Ferrand, France, p. 417.

The recording of grazing time of dairy goats is accurate using the Lifecorder Plus device

Rémy Delagarde[1], Marine Piriou[1], Alexia Charpentier[1,2]

[1]*INRA Pegase, Saint-Gilles, France,* [2]*INRA Ferlus, Lusignan, France*

E-mail: remy.delagarde@inra.fr

Take home message The use of the Lifecorder Plus is simple and allows to record accurately the grazing time of dairy goats at pasture.

Introduction The recording of daily grazing time in ruminants allows to better understand the sward-animal relationships and the behavioural constraints affecting daily intake at pasture. For grazing goats, very few portable devices have been validated. The Kenz Lifecorder Plus device (LCP, Suzuken Co. Ltd., Nagoya, Japan), based on an uniaxial accelerometer, originally developed for measuring human daily activity level, has been validated recently to record daily grazing time and pattern in dairy cows (Delagarde and Lamberton, 2015). The aim of this study was to compare grazing activity duration as recorded simultaneously by the Lifecorder Plus fitted on the goats's neck and by trained observers.

Materials & methods This validation study was conducted at the INRA experimental farm of Méjusseaume (Brittany, France) in 2015 and 2017 for a total of 173 hour × goat visual observations. The Lifecorder device is placed in a small box, attached to the goat's neck by means of a simple collar. Actual grazing, ruminating, and "other activities" were recorded by trained observers. The Lifecorder device records the average activity level for every 2-min period, with a range of possible values from zero (no activity) to 9 (maximal and permanent activity). Grazing activity was defined by an average activity level within a 2-min period greater than 0.5 as for dairy cows (Delagarde and Lamberton, 2015). Short periods of activity (2 or 4 min) as well as short intra-meal intervals (2 or 4 min) were not considered. Grazing activities were then summed per hour (for standardised statistical analyses) or per validation sequence (Figure 1). The grazing activity duration recorded by the Lifecorder Plus was compared with the actual grazing activity duration recorded manually by observers on a per hour basis, through the calculation of the mean prediction error which is the bias against the y=x axis (Bibby and Toutenburg, 1977), and though the calculation of sensitivity, specificity and accuracy (Visa *et al.*, 2011).

Results & discussion On average, at the hour scale, the correlation between predicted (by the Lifecorder, 52.0 min/h) and actual (by the observer; 50.1 min/h) grazing time was high ($R^2 = 0.87$), with a mean relative prediction error of 0.11, i.e. 5.4 min/h (Figure 1). There was no bias due to the slope (0% of Root Mean Square Error, RMSE), and a small over-estimation of grazing time (12% of RMSE due to the mean bias), the majority of the bias being due to random variation (88% of RMSE). At the scale of the observation sequence (mean duration: 162 min), the mean relative prediction error was only of 0.09, which indicates a good overall accuracy of the device. Sensitivity (proportion of true positive: 0.98) and accuracy (overall concordance: 0.96) were very high and showed that grazing activities were always well detected. Specificity (proportion of true negative: 0.74) was lower, indicating that some other activities were sometimes detected as grazing activity. These results indicate similar to greater prediction quality for recording daily grazing time in grazing goats when compared to the same device or other devices tested on grazing dairy cows. There is no similar published work on grazing goats.

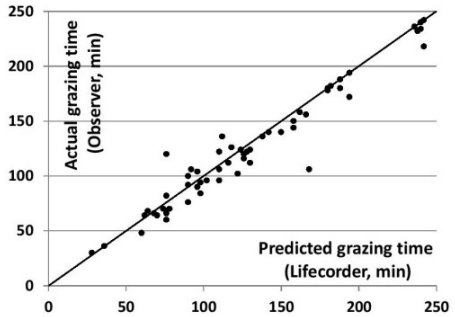

Figure 1 Relationship between grazing time recorded by the Lifecorder and by visual observation (69 sequences of 62 to 242 min of observation).

Conclusion The accuracy, sensitivity and specificity of the Lifecorder Plus to record grazing activities of dairy goats are high. This device can be used to record daily grazing time and nycthemeral pattern of grazing activities in goats at pasture.

Acknowledgements This research was supported by the french CASDAR project CAPHERB N°5546.

References

Bibby J and Toutenburg H 1977. Whiley, London
Delagarde R and Lamberton P 2015. Applied Animal Behaviour Science 165, 25–32.
Visa S, Ramsay B, Ralescu A and Van der Knaap E 2011. Proc. 22th Cognitive Science Conference, Cincinnati, Ohio, US.

Régulation et prévision de l'ingestion des chèvres laitières au pâturage

Résumé :
Dans un contexte de fluctuation des prix des intrants et d'une demande croissante en produits à base de lait de chèvre issus de pratiques respectueuses de l'environnement et des animaux, le pâturage peut retrouver une place plus importante dans l'alimentation des chèvres laitières. D'après la synthèse bibliographique, les facteurs de variation de l'ingestion et des performances au pâturage ont été très peu étudiés chez les chèvres laitières en conditions tempérées. L'objectif de la thèse a été de comprendre quelle est l'influence des pratiques de gestion du pâturage (disponibilité en herbe et en temps pour pâturer) sur la régulation de l'ingestion et les performances des chèvres laitières, dans le but d'affiner les recommandations aux éleveurs et d'élaborer les bases d'un modèle de prévision de l'ingestion. D'après les 6 essais réalisés : (1) les chèvres recevant entre 0,6 et 1,0 kg/j de compléments s'adaptent à des restrictions de temps d'accès de 11 à 5 h/j, en augmentant leur vitesse d'ingestion et surtout le pourcentage du temps passé à pâturer jusqu'à 95 % du temps d'accès, (2) les chèvres recevant 0,6 kg de concentrés et un temps d'accès d'au moins 11 h/j peuvent s'adapter à une restriction de quantité d'herbe offerte jusqu'à 2,5 kg MS/chèvre/j, (3), le poids vif et la production laitière sont des paramètres déterminant de la quantité d'herbe ingérée alors que la parité et le stade de lactation n'ont pas montré d'effet significatif. Ce travail a permis d'établir les premières lois de réponse d'ingestion, de production laitière et d'adaptation comportementale des chèvres laitières à des variations de temps d'accès et de quantité d'herbe offerte au pâturage.

Mots clés : chèvre laitière ; pâturage ; temps d'accès ; complémentation ; quantité d'herbe offerte ; variabilité interindividuelle ; ingestion ; production laitière ; comportement alimentaire.

Intake regulation and prediction of grazing dairy goats

Summary
In the context of prices volatility and growing demand for goat's milk products from respectful practices of the environment and animals, grazing can become more important in the diet of dairy goats. According to the literature review, the factors of variation of intake and performance of grazing dairy goats have been poorly studied under temperate conditions. The aim of this thesis was to understand the influence of grazing management practices (availability of pasture and access time to grazing) on the regulation of intake and performance of dairy goats, with the aim of refining recommendations for farmers and to elaborate a model of intake prediction. Based on the six trials conducted: (1) goats receiving between 0.6 and 1.0 kg/day of supplements adapt themselves to access time restrictions from 11 to 5 h/d, by increasing their intake rate and especially the percentage of time spent grazing up to 95% of access time, (2) goats receiving 0.6 kg of concentrates and an access time of at least 11 h/day can adapt to a restriction of pasture allowance up to 2.5 kg DM/goat/day, (3) live weight and milk production are the main variables affecting intake while parity and stage of lactation had no significant effect. This work provides the first response laws of intake, milk production and behavioural adaptation of grazing dairy goats to variations of access time to pasture and to pasture allowance.

Keywords: dairy goats; grazing; access time; supplementation; pasture allowance; inter-individual variability; intake ;milk production; behaviour.