



HAL
open science

Caractérisation phénotypique du comportement alimentaire chez la chèvre laitière

Marjorie Cellier

► **To cite this version:**

Marjorie Cellier. Caractérisation phénotypique du comportement alimentaire chez la chèvre laitière. Science des productions animales. Université Paris-Saclay, 2020. Français. NNT : 2020UPASB019 . tel-03181148

HAL Id: tel-03181148

<https://pastel.hal.science/tel-03181148>

Submitted on 25 Mar 2021

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.

Caractérisation phénotypique du comportement alimentaire chez la chèvre laitière

Thèse de doctorat de l'université Paris-Saclay

École doctorale n°581 Agriculture, alimentation, biologie,
environnement et santé (ABIES)

Spécialité de doctorat : Sciences animales

Unité de recherche : Université Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech, UMR Modélisation
Systémique Appliquée aux Ruminants, 75005, Paris, France.

Référent : AgroParisTech

**Thèse présentée et soutenue à Paris-Saclay,
le 17 décembre 2020, par**

Marjorie CELLIER

Composition du Jury

Olivier RAMPIN

Directeur de Recherche, INRAE (Centre IdF-Jouy-en-Josas-Antony)

Président

René BAUMONT

Directeur de Recherche, INRAE (Centre Clermont-Auvergne-Rhône
Alpes)

Rapporteur & Examineur

Marie-Christine MEUNIER-SALAÛN

Ingénieur de Recherche, HDR, INRAE (Centre Bretagne-Normandie)

Rapporteur & Examinatrice

Elsa VASSEUR

Associate Professor, McGill University

Examinatrice

Christine DUVAUX-PONTER

Professeur, AgroParisTech

Directrice de thèse

Birte NIELSEN

Directrice de Recherche, INRAE (Centre IdF-Jouy-en-Josas-Antony)

Co-directrice de thèse



Le meilleur moyen de réaliser l'impossible
est de croire que c'est possible

Alice au pays des merveilles,
Le Chapelier fou



REMERCIEMENTS

La thèse représente un travail de longue haleine qui constitue un chapitre de vie du doctorant. De nombreuses personnes se retrouvent ainsi, pour le meilleur et pour le pire, entre le doctorant et sa thèse. Ce sont ces personnes que j'aimerais mettre en avant dans ces remerciements.

Selon moi, la thèse ne devrait pas être une course en solitaire, mais plutôt un travail d'équipe. Et quelle chance d'avoir eu une équipe comme la mienne. Je tenais à remercier chaleureusement mes co-directrices de thèse, Christine Duvaux-Ponter et Birte L Nielsen. Je ne sais pas par quel bout commencé tant votre soutien indéfectible m'aura porté. J'ai eu la chance d'avoir deux directrices de thèse aussi impliquées que vous et qui s'entendaient bien entre elles. Merci de m'avoir fait confiance et permis d'ajouter un modèle d'étude à la palette déjà variée qui constitue mon expérience. Merci de vos conseils constructifs, de m'avoir transmis vos connaissances et votre passion à travers des discussions enrichissantes, de votre disponibilité à toutes heures du jour (et quelques fois très tôt le matin ou tard dans la soirée) malgré les emplois du temps bien chargés. Merci aussi de m'avoir encouragée à lever la tête du guidon afin de découvrir tous les à-côtés de la recherche. Merci de m'avoir permis de vivre des aventures extraordinaires à l'autre bout du monde. Tout simplement merci pour ces trois années, cette aventure de thèse n'aurait pas pu être meilleure ! Je retiendrais en particulier une citation que tu m'as envoyée Christine : *"Hâtez-vous lentement, et sans perdre courage, Vingt fois sur le métier remettez votre ouvrage, Polissez-le sans cesse, et le repolissez, Ajoutez quelquefois, et souvent effacez."* (Boileau).

Merci aux membres de mon jury pour m'avoir fait l'honneur d'y siéger : René Baumont et Marie-Christine Meunier-Salaün en tant que rapporteurs, Olivier Rampin et Elsa Vasseur en tant qu'examineurs. Merci pour votre investissement dans l'examen de ma thèse ainsi que pour nos discussions très enrichissantes et passionnantes.

Je tenais également à remercier sincèrement les membres de mon comité de thèse : Sylvie Giger-Reverdin, Yannick Lecozler et Sabine Roussel. Merci pour nos échanges

constructifs, vos conseils, et votre écoute attentive pendant nos réunions de suivi. C'était un plaisir de vous avoir à mes côtés.

J'ai eu la chance de côtoyer au quotidien de nombreuses personnes. Dans un premier temps, je tenais à remercier tous les membres de l'UMR MoSAR pour m'avoir aussi bien accueillie dans votre équipe. Merci pour tous ces moments de partage, que ce soit autour d'un gâteau au chocolat, d'une petite bière (avec modération !) ou d'un resto colombien. J'ai une pensée particulière pour le bureau des piou-piou/têtards/non-permanents, et notamment pour mes compagnons rencontrés dès le début de thèse : Ahmed, Pierre G et Manuel. Merci pour votre soutien quotidien, tous vos précieux conseils, et votre bonne humeur. Ahmed, j'espère qu'un jour tu arriveras à finir tes phrases et à faire des blagues drôles 😊. Je tenais aussi à adresser un remerciement particulier à Ophélie. Merci d'avoir été présente à chaque moment de ma thèse, dans les bons mais surtout dans les moins bons moments, de m'avoir si bien aidée, aiguillée et épaulée lors des manip. En bref, merci d'avoir été si présente pour moi pendant ces trois années, tout ce que tu m'as apportée est inestimable !

Je ne peux pas parler de l'unité sans parler de la chèvrerie de Grignon. Merci à vous tous d'avoir supporté mes idées de manip pas toujours faciles à organiser (« Et si on ajoutait des distributions de ration, à 19h et 23h par exemple, ça vous irait ? »), de m'avoir accueillie parmi vous et de m'avoir permis de découvrir le monde des caprins.

Pour réaliser mes expérimentations je n'étais pas seule. J'ai notamment été appuyée par deux super stagiaires : Camille-Albane Porte et Amalia Rataud. Les filles, merci beaucoup pour votre aide sur les tests comportementaux, que ce soit dans leur réalisation ou dans leur analyse, vous avez fait du super boulot !

Ma thèse a également été marquée par une superbe opportunité de mener une expérimentation à l'étranger. Cette aventure n'aurait pas été possible sans l'accueil de Gosia Zobel et toute son équipe. Je vous remercie infiniment pour tout ce que vous m'avez apporté pendant ces quelques mois ! J'ai une pensée particulière pour Briar, Emma, Gosia, Hannah,

Kevan et Trevor. Merci de m'avoir supportée quand je vous demandais de répéter trois fois la même chose car je ne comprenais rien 😊

(My thesis was also marked by a superb opportunity to conduct an experiment abroad. This adventure would not have been possible without the welcome of Gosia Zobel and her entire team. I thank you very much for all that you have brought me during these few months! I have a special thought for Briar, Emma, Gosia, Hannah, Kevan and Trevor. Thank you for supporting me when I asked you to repeat the same thing three times because I didn't understand 😊).

Puisque mon voyage en Nouvelle-Zélande a été synonyme d'émancipation, de découverte et de pur bonheur, je ne pouvais pas ne pas vous remercier, les aventuriers d'Hamilton : Baptiste, Chloé, Kevin, et (the last but not the least) Léa. Vous avez rempli mon aventure de milliers de souvenirs, et sans vous la saveur de ce séjour n'aurait pas été la même. Chloé, Léa, mes copines du bout du monde, qui continuent à me supporter même après notre retour en France, et qui en plus en redemandent. Notre amitié a commencé au pied des montgolfières, à continuer autour d'un verre de pinot gris, d'un bout de carotte et de humus et nous a suivie, nous et nos sacs à dos. Jusqu'où nous mènera-t-elle ? Nos prochaines aventures nous le diront.

J'ai une pensée particulière également pour Justine et Maya, mes colocs de van de l'île du sud. Il fallait oser, louer une maison roulante, avec deux inconnues, et vivre ensemble H24 pendant 3 semaines. On l'a fait et quelle aventure !

Je me dois également de remercier mes copines de toujours : Claire, Gaëlle, Lysa, les deux Marine, Nania et Ségogo. Même si vous me prenez le plus souvent pour une folle quand je vous parle de mes études, je vous aime quand même !

Je pense aussi à toi, ma Charlotte. Merci à toi de m'avoir tant soutenue et d'avoir été présente lors de la dernière ligne droite de la rédaction. Tes encouragements m'ont été d'une aide précieuse et nos blablatages m'auront permis de m'évader un peu !

Merci également Rémi. Je ne sais pas comment décrire toute la reconnaissance que j'ai pour toi. J'ai toujours pu compter sur toi, à la fois pour tes précieux conseils mais aussi quand il fallait me remettre sur le droit chemin (je ne peux toujours pas étudier les licornes,

tu es sûr ?). Merci d'être à la fois mon mentor et mon ami !

Un merci également à Stéphane. Tu as toujours été très présent, du master jusqu'à la presque fin de thèse. Tu as été un vrai pilier pour moi, toujours à me pousser et à me soutenir, quelques soient mes décisions, même lorsqu'elles me faisaient m'éloigner à plus de 18 000 km de toi. Même si nous nous sommes éloignés, ma réussite est aussi grâce à toi.

Violette, ton nom ne pouvait pas ne pas apparaître dans ces remerciements. Il me faudrait tout un roman pour te remercier à ta juste valeur ! Merci mon inséparable pour absolument tout, tout ce que tu m'apportes depuis maintenant tant d'années. Mon parcours n'aurait pas été le même si nos routes ne s'étaient pas croisées, si tu ne m'avais pas poussée à partir à Rennes, si tu ne m'avais pas tant aidée et on sait toutes les deux que je ne serais pas aujourd'hui en train de rédiger mes remerciements de thèse (et je ne pourrais pas avoir encore et toujours ce fou rire en repensant à ton fameux « c'est de la baaave »).

J'ai pris l'habitude de nommer les animaux ayant participé à mes expérimentations dans mes remerciements. Il serait un peu long de nommer toutes les chèvres que j'ai croisées. Je résumerais donc par trois prénoms : Olly, Plume et Romy.

Enfin, je ne peux que remercier toute ma famille pour votre soutien inconditionnel. Merci à mes parents pour tout ce que vous m'avez transmis que ce soit votre éducation ou vos valeurs. Sans vous, rien n'aurait été possible et je n'en serais pas là, à réaliser mes rêves de petite fille. Merci d'avoir toujours cru en moi, de m'avoir toujours soutenue et poussée dans mes projets, même s'ils m'éloignaient du foyer familial. Eh papa, la science c'est ??? (Réponse : l'excellence 😊).

Merci aussi à ma Lulu, qui n'hésite pas à me remettre les pieds sur terre quand il le faut, mais qui derrière son sale caractère a toujours soutenu sa petite sœur.

Il me faudrait un autre manuscrit de 200 pages pour remercier convenablement toutes les personnes qui ont croisé mon chemin durant cette thèse. Chacun à votre manière vous avez influencé mon parcours et avez fait que je puisse présenter ce manuscrit aujourd'hui. Alors MERCI !

TABLE DES MATIÈRES

Liste des illustrations -----	ii
Liste des abréviations -----	v
Liste des annexes -----	v
Valorisation de la thèse -----	vi
Préambule. -----	1
CHAPITRE 1. Introduction générale -----	9
AVANT-PROPOS -----	11
1. Le comportement alimentaire des ruminants-----	11
1.1. Rappels sur les bases du comportement alimentaire -----	11
1.2. Les enjeux d'une meilleure compréhension du comportement alimentaire -----	43
1.3. Les outils de mesure du comportement alimentaire : de l'observation directe à l'élevage de précision, un développement croissant des méthodes de mesures du comportement alimentaire ---	45
2. Généralités sur le modèle caprin-----	52
2.1. L'élevage caprin -----	53
2.2. Spécificités du comportement alimentaire de la chèvre -----	59
3. Questions et stratégies de recherche -----	63
CHAPITRE 2. Matériels et méthodes -----	67
AVANT-PROPOS -----	69
1. Dispositifs expérimentaux Article 1 – Préférences alimentaires chez la chèvre -----	69
1.1. L'arène de test -----	69
1.2. Les animaux utilisés -----	72
2. Dispositifs expérimentaux Articles 2 et 3 – Variabilité inter- et intra-individuelle - Capacités d'adaptation et flexibilité du comportement alimentaire -----	73
2.1. Le dispositif de mesure du comportement alimentaire individuel -----	73
2.2. Les animaux utilisés -----	75
2.3. Composition des groupes d'individus -----	78
3. Facteurs contrôlés pouvant influencer le comportement alimentaire dans nos études -----	79
4. Les variables du comportement alimentaire -----	83
CHAPITRE 3. Étude des préférences alimentaires des chèvres en termes de posture d'alimentation et de types d'aliments -----	87
Résumé -----	89
Browse or browsing: investigating goat preferences for feed type and feeder position -----	91
CHAPITRE 4. Étude de la variabilité inter- et intra-individuelle du comportement alimentaire des chèvres laitières -----	125
Résumé -----	127
Inter- and intra-individual variability of feeding behaviour in group housed dairy goats -----	129

CHAPITRE 5. Étude de la flexibilité du comportement alimentaire et des capacités d'adaptation des chèvres laitières ----- 157

Résumé -----159

Dairy goats adapt their feeding behaviour to the frequency of feed delivery-----161

CHAPITRE 6. Discussion générale----- 187

1. Discussion des résultats, des méthodes et recommandations -----189

1.1. Rappels des résultats -----189

1.2. Discussion des méthodes -----190

1.3. Discussion des résultats -----202

1.4. Recommandations et pistes de réflexion pour les futures utilisations du dispositif de caractérisation du comportement alimentaire chez l'adulte -----212

2. Quelques perspectives de recherche -----213

2.1. Qu'en est-il de la rumination ?-----213

2.2. L'élevage de précision et les mesures du comportement peuvent-ils être mis au service du bien-être animal ? -----215

2.3. Le comportement alimentaire peut-il être relié à la personnalité des individus ? -----217

2.4. Le comportement alimentaire peut-il être lié au microbiote ? -----219

CHAPITRE 7. Conclusion générale ----- 223

Références bibliographiques. ----- 229

Annexes.----- 252

LISTE DES ILLUSTRATIONS (hors articles)

Préambule

Figure 1. Chronogramme décrivant l'origine des données en lien avec la thèse.

Figure 2. Schémas récapitulatifs des focus de la thèse A) initialement, B) après réorientation du projet.

Chapitre 1 - Introduction générale

Figure 3. Figure récapitulative des composantes du comportement alimentaire et des variables pouvant le caractériser.

Figure 4. Représentation schématique des facteurs principaux pouvant influencer le comportement alimentaire des ruminants.

Figure 5. Photographies représentant des exemples de boucles avec système RFID pour l'identification des individus. Crédits photos : Alicia Nijdam sur Flickr et Marjorie Cellier (photos personnelles).

Figure 6. Schéma représentatif de l'utilisation d'automates et de capteurs par l'éleveur dans le cadre de l'élevage de précision.

Figure 7. Photographies représentant des parties du distributeur automatique de lait A) l'unité de chauffe et de mélange de l'aliment d'allaitement, B) la tétine et le passe tête comprenant l'antenne réceptrice pour la RFID (Crédits photos : Marjorie Cellier, photos personnelles).

Figure 8. Évolution du nombre de têtes de caprins dans le monde entre 1961 et 2017. Source FAOSTAT consultée le 18/08/2020.

Figure 9. Répartition mondiale du cheptel caprin en 2017. Source FAOSTAT consultée le 18/08/2020.

Figure 10. Carte de Nouvelle-Zélande mettant en évidence la région Waikato qui est la principale région laitière du pays.

Figure 11. A) Photographie d'une chèvre de race alpine (Crédit photo : Getty Images-iStockphoto) B) Photographie d'une chèvre de race Saanen (Crédit photo : Marjorie Cellier, photo personnelle).

Figure 12. Photographie représentant des chèvres perchées dans un arbre (Crédit photo : Steven Feldman sur Unsplash).

Chapitre 2 - Matériels et méthodes

Figure 13. Photographie de l'arène de test utilisée pour tester les préférences alimentaires des chèvres (Crédit photo : Marjorie Cellier, photo personnelle).

Figure 14. Photographies représentant A) la posture de la chèvre les deux pattes sur une marche afin d'atteindre les feuilles présentées dans la mangeoire en hauteur ; B) l'intérieur de la mangeoire en hauteur avec la tête de la chèvre orientée vers le haut ; C) la posture de la chèvre mimant le pâturage ; D) l'intérieur de la mangeoire au niveau du sol avec la tête de la chèvre orientée vers le bas (Crédits photos : Marjorie Cellier, photos personnelles).

Figure 15. Photographies représentant : A) les mangeoires et la plateforme utilisées dans l'expérimentation 2 ; B) l'intérieur de la mangeoire accessible via la plateforme (Crédits photos : Marjorie Cellier, photos personnelles).

Figure 16. Photographie d'un des enclos adjacents à l'arène de test où les chèvres attendaient par quatre avant d'être testées pendant 10 minutes (Crédit photo : Marjorie Cellier, photo personnelle).

Figure 17. Photographie du dispositif permettant de caractériser le comportement alimentaire à l'âge adulte. Durant nos expérimentations, chaque case accueillait quatre chèvres. Le sol est en caillebotis en bois. Deux abreuvoirs sont présents dans chaque case ainsi que quatre stations d'alimentation (Crédit photo : Marjorie Cellier, photo personnelle).

Figure 18. Photographie présentant les différentes parties des stations d'alimentation : 1) l'antenne réceptrice permettant de lire la boucle de la chèvre et la reconnaissance RFID ; 2) la mangeoire ; 3) la balance ; 4) le cornadis débloqué lors de l'identification de la chèvre (Crédit photo : Marjorie Cellier, photo personnelle).

Figure 19. Chronogramme décrivant l'origine des données en lien avec la thèse en précisant les périodes d'expérimentations utilisées dans les études des chapitres 4 et 5.

Figure 20. Représentation schématique de la détermination du critère de repas A) selon la méthode de *Tolkamp et al. (1998)* ; B) utilisée dans nos études.

Figure 21. Triangle représentant les six variables du comportement alimentaire (d'après *Nielsen, 1999*).

Chapitre 6 – Discussion générale

Figure 22. Dispositif de caractérisation du comportement alimentaire adulte lorsque toutes les chèvres ont trouvé leur station d'alimentation individuelle (Crédit photo : Ophélie Dhumez).

Figure 23. Photographies représentant différentes postures d'alimentation des chèvres. A) En équilibre sur les pattes arrière (Crédit photo : Marjorie Cellier, photo personnelle) ; B) Les pattes avant surélevées, en appui (Crédit photo : Martin Skarregaard sur Unsplash) ; C) Perchées dans un arbre (Crédit photo : Steven Feldman sur Unsplash).

Figure 24. Photographie d'un accéléromètre positionné sur l'oreille d'une chèvre dans le but d'enregistrer la rumination (Crédit photo : Ophélie Dhumez).

Figure 25. Représentation de l'accélération sur l'axe x en fonction du temps. Les périodes d'environ une minute de mastication entrecoupées de moment d'ingestion/régurgitation sont bien marquées. (Crédit photo : Pierre-Emmanuel Robert).

Tableau 1. Exemple de la répartition de la ration lorsqu'elle est distribuée en deux fois pour les individus testés dans l'étude du **chapitre 5** sur les capacités d'adaptation. Les individus en gras sont ceux pour qui les ratios diffèrent de ceux habituellement utilisés, soit 2/3-1/3, en relation avec l'intervalle entre les traites de 15h et de 7h.

LISTE DES ABBRÉVIATIONS

BW : **B**ody **W**eight

DAL : **D**istributeur **A**utomatique de **L**ait

DFT : **D**aily **F**eeding **T**ime

DFI : **D**aily **F**eed **I**ntake

DMI : **D**aily **M**eal **I**ntake

DUM : **D**uration of a **M**eal

FIM : **F**eed **I**ntake per **M**eal

FR : **F**eeding **R**ate

ICC : **I**ntra-class **C**orrelation **C**oefficient

MIX : **M**ix cut grass

MS : **M**atière **S**èche

NDM : **N**umber of **D**aily **M**eals

PLF : **P**recision **L**ivestock **F**arming

POP : **P**oplar leaves

PV : **P**oids **V**if

RFID : **R**adio **F**requency **I**dentification

TMR : **T**otal **M**ixed **R**ation

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Poster présenté lors du congrès international ISNH en septembre 2018

Annexe 2 : Poster présenté lors du congrès international ISAE en août 2019

Annexe 3 : Procédure d'utilisation du dispositif de suivi d'ingestion de l'UMR MoSAR

VALORISATION DE LA THÈSE

Les travaux de cette thèse ont donné lieu à trois articles scientifiques dont je suis premier auteur (un publié dans le journal *Applied Animal Behaviour Science*, et deux soumis à *Frontiers in Veterinary Science* et *Animal* à la date de soumission de ce présent manuscrit), et cinq communications à des congrès nationaux et internationaux. Un article scientifique dont je suis co-auteur est également en révision pour le journal *Animal*.

Articles

Cellier, M., Duvaux-Ponter, C., et Nielsen, B.L., 2021. Inter- and intra-individual variability of feeding behaviour in group housed dairy goats. *Applied Animal Behaviour Science*, <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2020.105167>

Nielsen, B.L., **Cellier, M.**, Duvaux-Ponter, C., and Giger-Reverdin, S., en révision. Dairy goats adjust their meal patterns to the fibre content of the diet. *Animal*

Cellier, M., Nielsen, B.L., Duvaux-Ponter, C., Freeman, H.B.R., Murphy, B., O'Connor, E., Cote, K., et Zobel, G. Browse or browsing: investigating goat preferences for feed type and feeder position. *Frontiers in Veterinary Science*, soumis en Janvier 2021

Cellier, M., Nielsen, B.L., Giger-Reverdin, S., et Duvaux-Ponter, C. Dairy goats adapt their feeding behaviour to the frequency of feed delivery. *Animal*, soumis en Février 2021

Communications avec comités de lecture

Communication orale

Cellier, M., Duvaux-Ponter, C., Dhumez, O., Blavy, P., et Nielsen, B.L., 2019. Variabilité individuelle du comportement alimentaire de chèvres laitières. 49ème congrès de la Société Française pour l'Étude du Comportement Animal (SFECA), 11-14 juin 2019, Lille (France), 1 page

Posters

Cellier, M., Nielsen, B.L., Eymard, A., et Duvaux-Ponter, C., 2018. Les chevreaux peuvent être phénotypés sur leur comportement alimentaire pré-sevrage. 48ème congrès de la Société Française pour l'Étude du Comportement Animal (SFECA), 19-21 juin 2018, Rennes (France)

Cellier, M., Nielsen, B.L., Eymard, A., et Duvaux-Ponter, C., 2018. Goat kids can be characterized on their pre-weaning feeding behaviour. 10th International Symposium on the Nutrition of Herbivores (ISNH), 3-6 septembre 2018, Clermont-Ferrand (France). **Best poster award**

Cellier, M., Nielsen, B.L., Eymard, A., Tessier, J., et Duvaux-Ponter, C., 2018. Le distributeur automatique de lait : un dispositif permettant de caractériser le comportement alimentaire pré-sevrage des chevreaux. Rencontres Recherches Ruminants (3R), 5-6 décembre 2018, Paris (France)

Cellier, M., Duvaux-Ponter, C., Dhumez, O., Blavy, P., et Nielsen, B.L., 2019. Individual differences in feeding behaviour of dairy goats. 53rd Congress of the International Society for Applied Ethology (ISAE), 5-9 août 2019, Bergen (Norway)

Préambule.

Ce manuscrit de thèse est le fruit de trois années de travail réalisées au sein de l'UMR Modélisation Systémique Appliquée aux Ruminants (MoSAR) de l'Université Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech, sous la co-direction de Christine Duvaux-Ponter et Birte L. Nielsen. Ma thèse a été soutenue par l'école doctorale ABIES grâce à un financement conjoint Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, ainsi que INRAE. Mes travaux s'intègrent dans un dispositif plus vaste qui vise à phénotyper les animaux de l'installation expérimentale de MoSAR sur de nombreux critères (zootecniques, physiologiques, comportementaux), en lien avec des généticiens, pour ensuite les soumettre à des challenges nutritionnels afin d'étudier leurs capacités d'adaptation. Durant ces trois années, je me suis investie dans de nombreux projets (**Figure 1**). Afin de comprendre les choix qui ont été faits pour la rédaction de ce manuscrit, le contexte initial de la thèse, puis la réorientation qu'a subie le projet sont présentés dans les paragraphes suivants.

Les systèmes d'élevage sont actuellement en pleine évolution avec une demande sociétale de plus en plus forte afin de mieux prendre en compte le bien-être des animaux, mais aussi avec des pressions économiques importantes. Une composante clé pour adapter ces systèmes d'élevage réside dans une bonne harmonie entre les capacités d'adaptation des animaux du troupeau à des environnements changeants, le maintien de leurs performances de production et un pilotage par l'éleveur qui valoriserait au mieux la variabilité biologique individuelle. Le développement de l'élevage de précision (precision livestock farming: PLF) ainsi que les capacités croissantes d'enregistrement en temps réel de nombreux paramètres du comportement et de production permettent d'obtenir des informations précises et de plus en plus accessibles sur le terrain. Néanmoins, pour que ce type de données soit correctement exploité en élevage, elles doivent pouvoir prédire des événements futurs liés aux performances de production ou encore à l'état de santé des animaux. La pertinence biologique des variables mesurées doit donc être connue.

Dans ce contexte, le comportement alimentaire, qui constitue une part importante de la caractérisation de tout animal de production, est une variable d'intérêt. Les mesures du comportement alimentaire sont cependant souvent réalisées sur de courtes périodes de temps et/ou à des étapes spécifiques de la vie d'un animal. En outre, dans de nombreux protocoles expérimentaux, le comportement alimentaire ne peut, faute de moyens techniques, être mesuré que chez des individus hébergés individuellement alors que les espèces de production, du fait de leur caractère social, sont hébergées en groupes qui correspondent à des environnements sociaux complexes. De plus en plus de travaux mettent également en évidence qu'il existe une variabilité individuelle forte du comportement alimentaire permettant alors d'envisager de le mesurer pour phénotyper les animaux (Jarrige et al., 1995 ; Kyriazakis et al., 1999 ; Melin et al., 2005ab ; Giger-Reverdin et al., 2020).

Chez les ruminants le comportement alimentaire a été étudié principalement chez les vaches laitières (De Vries et al., 2003ab), plus récemment dans le but de détecter des problèmes de boiterie (Thorup et al., 2016). Il a également été étudié en détail pendant la phase lactée chez les veaux (von Keyserlingk et al., 2004 par exemple), mais n'a pas été relié au comportement alimentaire de ces animaux à l'âge adulte. En raison du manque d'études sur ce sujet, nous en savons peu sur le développement du comportement alimentaire d'un individu, et en particulier d'un ruminant. Les ruminants sont d'ailleurs particulièrement intéressants à étudier car ils sont monogastriques pendant la phase d'alimentation lactée et deviennent des ruminants au fil du temps, à mesure que la consommation d'aliments solides augmente.

En utilisant la chèvre, mon projet initial de thèse avait pour objectif de combler certaines lacunes dans nos connaissances sur le comportement alimentaire en étudiant son développement de la naissance à l'âge adulte, et sa stabilité dans différentes conditions, en réponse à des perturbations.

Au début de la thèse, le focus initial était d'étudier le possible lien entre le comportement alimentaire pré- et post-sevrage avec un objectif de prédiction du comportement à l'âge adulte. Nous faisons l'hypothèse que le comportement alimentaire individuel en phase lactée était similaire sous une alimentation solide, et tout au long de la

vie de l'animal. Nous supposions aussi qu'il était possible de relier le comportement alimentaire à d'autres caractéristiques individuelles plus facilement mesurables comme la personnalité (Neave et al., 2018a). Réaliser des tests de personnalité dès le plus jeune âge aurait alors été un des moyens permettant de caractériser simplement le comportement alimentaire qui serait présent à l'âge adulte, et aurait ainsi permis une sélection précoce des jeunes les plus adaptés et adaptables aux systèmes d'élevage concernés (**Figure 2A**). Les résultats préliminaires de la thèse, qui ne semblaient pas montrer de lien fort entre le comportement alimentaire pré- et post-sevrage, ainsi que des discussions ultérieures, ont abouti à une réorientation du projet en se focalisant sur l'adulte. Suite à cette réorientation, un séjour en Nouvelle-Zélande dans l'équipe Animal Welfare d'AgResearch (Hamilton) a permis de développer un nouveau pan du projet : la caractérisation des préférences alimentaires des chèvres adultes en termes de types d'aliments et de positions d'alimentation. L'objectif général de ma thèse était donc d'approfondir les connaissances quant au comportement alimentaire des ruminants adultes, et plus particulièrement des chèvres.

Durant toute ma thèse, j'ai couvert de nombreux aspects pertinents pour l'étude du comportement alimentaire. J'ai ainsi réalisé des tests comportementaux afin de caractériser les chèvres sur certains traits de personnalité, ainsi qu'étudié les profils alimentaires des chevreaux avant le sevrage. Cependant, toutes les données collectées pendant mes trois années de thèse ne pouvaient pas être incluses dans ce manuscrit, et j'ai fait le choix d'exclure ces expérimentations pour me concentrer sur les aspects suivants (**Figure 2B**) :

- Les préférences alimentaires (**Chapitre 3**), en s'interrogeant si les chèvres présentent des préférences alimentaires, notamment en termes de positions d'alimentation et de types d'aliments proposés.
- La variabilité inter- et intra-individuelle (**Chapitre 4**), en se demandant s'il existe une variabilité inter- et intra-individuelle pour des chèvres laitières hébergées en groupe ? Si le stade de lactation influence le comportement alimentaire ? Et si le comportement alimentaire est stable entre différents stades physiologiques pour des chèvres laitières hébergées en groupe ?

- La flexibilité du comportement alimentaire et les capacités d'adaptation des individus (**Chapitre 5**) en se questionnant sur l'effet d'un challenge alimentaire de type modification de la fréquence de distribution de la ration sur le comportement alimentaire et sur l'adaptation des animaux à ce challenge.

Ainsi, la structuration du manuscrit se définit comme suit : le **chapitre 1** constitue une synthèse du contexte et présente le comportement alimentaire des ruminants ainsi que des généralités sur le modèle caprin. Le **chapitre 2** permet de présenter le matériel et les méthodes utilisés dans les études réalisées au cours de la thèse. La principale valorisation des résultats se présente sous la forme d'articles scientifiques dont le statut de publication à la date de soumission du présent manuscrit est indiqué au début des **chapitres 3 à 5**. Une discussion des méthodes et des résultats ainsi que quelques perspectives d'intérêt sont présentées dans le **chapitre 6**. Enfin, le **chapitre 7** conclut ce manuscrit.

Les données concernant le comportement alimentaire dans le jeune âge ainsi que la personnalité, récoltées tout au long de la thèse (notamment grâce à deux stagiaires encadrées pour les tests de personnalité, Camille-Albane Porte et Amalia Rataud) seront analysées plus en détails ultérieurement afin d'être valorisées dans des articles, hors-manuscrit de thèse.

Des données ont également été obtenues sur des chèvres adultes soumises à un challenge alimentaire qui consistait à faire varier la proportion en fibres de la ration, en utilisant des analyses du comportement alimentaire similaires à celles que j'ai développées pour ma thèse. Ces données sont valorisées dans un article dont je suis co-auteur, actuellement soumis au journal *Animal*, mais qui ne fait pas partie du manuscrit de thèse.

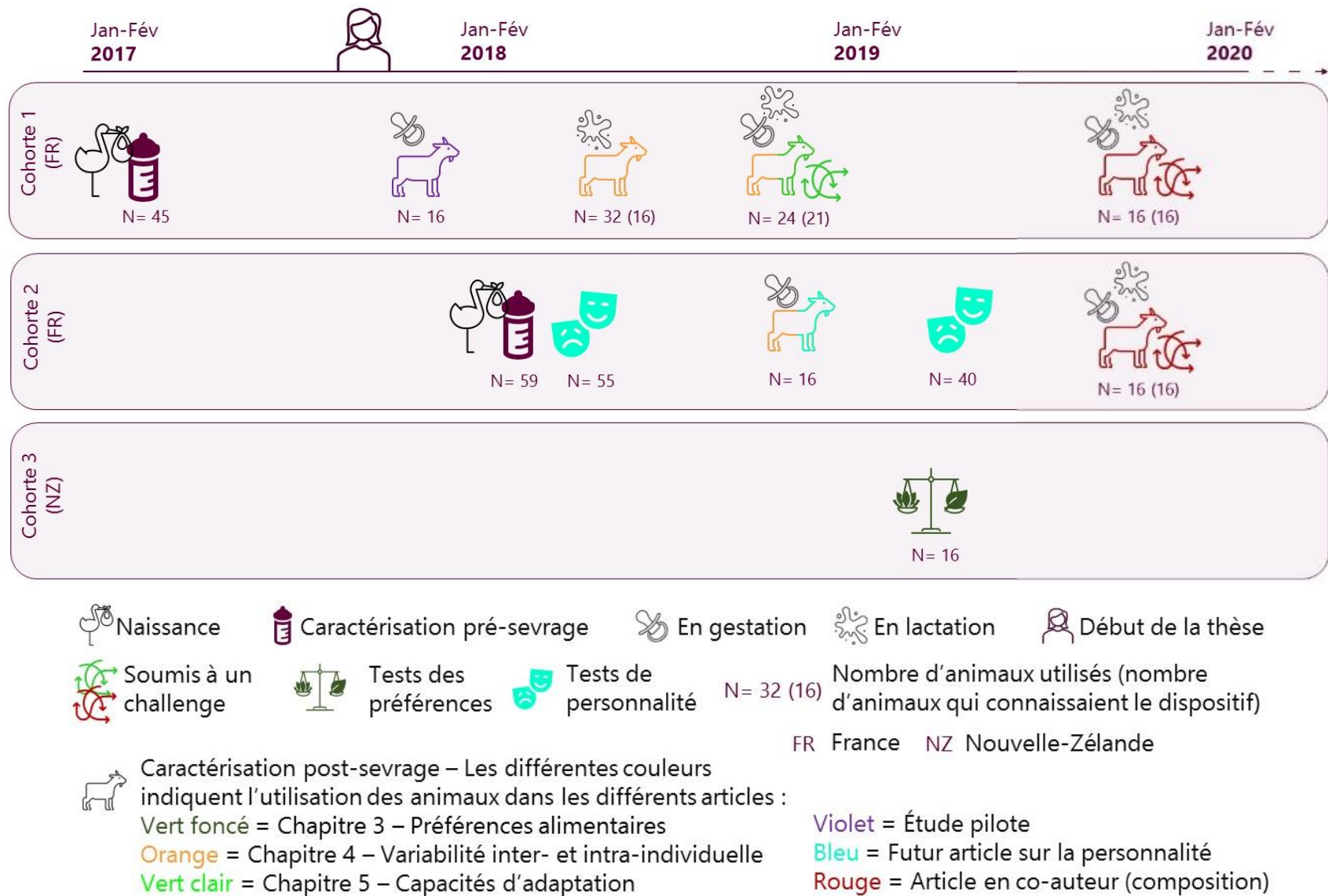


Figure 1. Chronogramme décrivant l'origine des données en lien avec la thèse

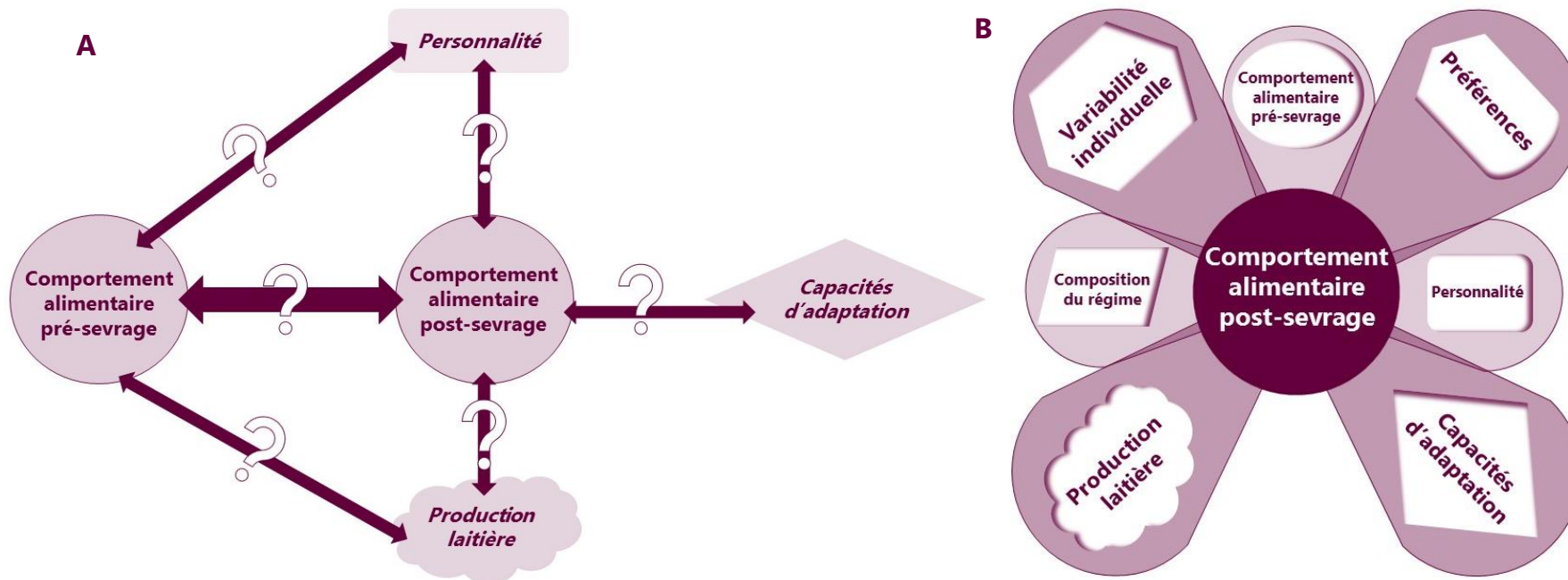
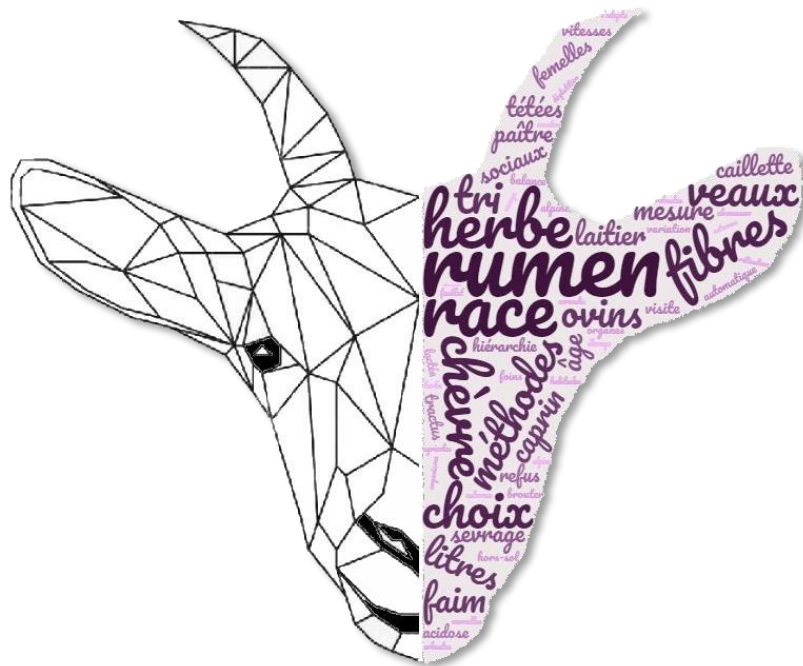


Figure 2. Schémas récapitulatifs des focus de la thèse A) initialement, B) après réorientation du projet

CHAPITRE 1.

Introduction générale



AVANT-PROPOS

L'objectif de ce premier chapitre est de présenter le contexte de mon projet de thèse. La première partie apporte des éléments quant au comportement alimentaire des ruminants. Les bases du comportement alimentaire des ruminants seront d'abord présentées, en détaillant son développement, son expression ainsi que les facteurs susceptibles de l'influencer. Les enjeux sous-jacents l'étude du comportement alimentaire ainsi que les outils de mesure d'un tel comportement seront ensuite abordés.

La seconde partie évoque des généralités sur le modèle caprin, notamment sur leur élevage dans le monde, et plus spécifiquement en France et en Nouvelle-Zélande qui sont les deux pays dans lesquels les expérimentations de cette thèse ont été menées. Les chèvres étant des ruminants un peu particuliers, les spécificités de leur comportement alimentaire sont également présentées.

Enfin, la dernière partie de ce chapitre introductif est consacrée aux questions et stratégies de recherche mises en place au cours de mes trois années de thèse.

1. Le comportement alimentaire des ruminants

1.1. Rappels sur les bases du comportement alimentaire

En éthologie, le comportement alimentaire est décrit comme étant «l'ensemble des actions de l'animal ayant pour finalité la recherche, le choix des aliments, et leur ingestion en quantité adaptée à la satisfaction des besoins en énergie et en nutriments de l'organisme» (Jean-Blain, 2002). Les ruminants, comme les autres espèces d'élevage, tentent ainsi d'ajuster leur ingestion d'aliment à leurs besoins nutritionnels (Toates, 1986). Bien que de nombreuses espèces se nourrissent de fourrage, peu sont aussi bien adaptées que les ruminants avec leur comportement alimentaire particulier qui combine ingestion et rumination (qui est nécessaire pour casser les particules alimentaires et pour réguler le pH du rumen). Ces deux activités occupent un rôle central dans la vie du ruminant.

Il est important d'étudier le comportement alimentaire d'un côté pour élargir les connaissances, mieux comprendre et clarifier les relations fonctionnelles entre les performances et le comportement. D'un autre côté, nous avons aussi besoin de mieux appréhender la variabilité individuelle du comportement alimentaire qui peut impacter de façon remarquable la production animale. Dans ce manuscrit, j'ai fait le choix de me focaliser sur la composante « ingestion » du comportement alimentaire. Les bases de la rumination seront tout de même abordées.

1.1.1. Développement du comportement alimentaire

Dans la plupart des systèmes de production laitière caprine, les jeunes sont séparés de leur mère dès la naissance. Ainsi, depuis de nombreuses années, l'aliment d'allaitement est préféré au lait de chèvre. En effet, pour faire face à des problèmes sanitaires de transmission de pathogènes par le lait maternel, et pour permettre à l'éleveur de vendre la totalité du lait produit, l'utilisation d'un aliment d'allaitement a été introduite dans les élevages (Lu et Potchoiba, 1988). L'utilisation de distributeurs automatiques de lait (DAL, aussi appelés louves) permet aux jeunes de se nourrir *ad libitum* (c'est-à-dire à volonté), à toute heure du jour et de la nuit. Néanmoins, la quantité et la fréquence de distribution du lait ou de l'aliment d'allaitement diffèrent suivant les exploitations agricoles, de même que la présence ou l'absence de congénères qui va influencer les possibilités d'apprentissage social (Vasseur et al., 2010 ; Hötzel et al., 2014). Ces facteurs peuvent ensuite agir sur le développement du comportement alimentaire (Miller-Cushon et DeVries, 2015). Plus de détails sur le fonctionnement des distributeurs automatiques de lait sont donnés dans la partie 1.2.1 de ce chapitre.

La phase lactée chez le ruminant est particulière car elle correspond à une étape intermédiaire entre les stades de pré-ruminant et de ruminant. En effet, les ruminants sont des animaux polygastriques, c'est-à-dire que leur estomac est composé de plusieurs compartiments : le rumen (ou panse), le réseau (ou réticulum), le feuillet (ou omasum) et enfin la caillette (ou abomasum, aussi appelé estomac vrai). Leur fonctionnement à l'âge adulte est expliqué plus loin.

Lors de la phase lactée, certains de ces compartiments ne sont pas encore fonctionnels. En effet, chez le jeune pré-ruminant, le rumen est anatomiquement et physiologiquement non mature (Tamate et al., 1962). Le lait ingéré court-circuite le réticulo-rumen et passe ainsi directement de l'œsophage à l'abomasum via la gouttière œsophagienne. Si le lait passait directement dans le rumen, des troubles intestinaux apparaîtraient (Morand-Fehr et Sauvart, 1991). Le système digestif se développe avec l'âge : à 2 mois le rumen du veau par exemple représente 50% du volume digestif contre 10% pour la caillette, tandis qu'au-delà de 4 mois, le rumen représente 80% du volume digestif, comme chez l'adulte, contre 8 % pour la caillette (Stobo et al., 1966).

Le jeune ruminant se nourrit donc d'abord de lait, puis commence rapidement à ingérer des aliments solides, à partir de l'âge de deux semaines chez les veaux et les agneaux (Forbes, 1971). Afin de favoriser le développement de la flore ruminale, de l'aliment concentré est rapidement introduit dans le régime des chevreaux élevés en bâtiments (Goetsch et al., 2001). Le sevrage, c'est-à-dire le passage d'une alimentation exclusivement liquide à une alimentation majoritairement solide, est une étape critique dans la période de l'élevage du jeune, car de nombreux bouleversements physiologiques, métaboliques et comportementaux entrent en jeu. À noter qu'il existe deux définitions du sevrage : le sevrage mère-jeune, où comme dans les élevages caprins les chevreaux sont séparés de leur mère très tôt après la naissance, et le sevrage alimentaire. Dans ce manuscrit, nous ne parlerons que de ce dernier. Dans des conditions naturelles, le sevrage est lent et la transition à une alimentation solide est longue (Forbes, 1971). Dans des conditions d'élevage, le moment du sevrage peut être choisi soit en fonction du poids, soit en fonction de l'âge (Lu et Potchoiba, 1988). Les chevrettes par exemple sont traditionnellement sevrées entre 15 et 20 kg et à un âge compris entre 60 et 75 jours (IDELE, 2014). Les modalités du sevrage restent très variables selon les espèces.

En même temps que l'ingestion d'aliments solides se développe, une distension du rumen apparaît afin qu'il atteigne sa taille adulte, à partir de l'âge de 11 semaines chez les veaux par exemple (Forbes, 1971), âge à partir duquel le jeune aura pleinement développé

ses caractéristiques de ruminant. Le rumen est le plus volumineux des compartiments du système digestif (entre 120 et 200 litres chez un bovin adulte, jusqu'à une trentaine de litres chez la chèvre et 10 à 20 litres chez le mouton), bien que le volume des autres compartiments soit aussi variable entre les espèces. Il est le siège d'un écosystème où une grande partie des aliments ingérés par l'animal est valorisée. En effet, les aliments qui sont ingérés sont d'abord rapidement mastiqués dans la cavité buccale, puis rejoignent directement le rumen après avoir traversé le réseau. Les fines particules passent alors directement dans la suite du tractus digestif (feuillet puis caillette) alors que les plus grosses particules sont retenues au niveau de l'orifice réticulo-abomasal qui sert de filtre. La taille des particules sera par la suite réduite d'une part par la rumination (cf. plus loin), et d'autre part avec l'action des micro-organismes avant d'arriver dans l'omasum. Ce dernier exerce une fermentation additionnelle et retient une partie de l'eau des aliments. C'est ensuite dans l'abomasum que la digestion à proprement parler commence sous l'effet d'enzymes digestives (Thivend et al., 1985 ; Jarrige et al., 1995). L'énergie et les métabolites nécessaires aux micro-organismes du système digestif des ruminants pour leur production laitière, leur croissance et leur entretien sont obtenus par toutes ces dégradations.

Comme précisé ci-dessus, un processus important intervient lors du comportement alimentaire et de la digestion chez les ruminants, la rumination. En effet, peu après la fin des périodes d'ingestion, 5 à 15 min chez la chèvre ou le mouton, un cycle commence avec une régurgitation du bol alimentaire qui remonte dans la cavité buccale. Ce bol alimentaire, de 50 à 80 g chez les petits ruminants et 600 à 1000 g chez les bovins, est alors séparé immédiatement en deux parties : l'une est aussitôt déglutie, tandis que l'autre va être de nouveau mastiquée (Jarrige et al., 1995). Au bout de 40 à 60 secondes, les aliments et la salive sont déglutis. Une courte pause (entre 4 à 8 sec chez les bovins et les ovins) s'écoule avant qu'un nouveau bol alimentaire ne soit régurgité (Jarrige et al., 1995). Une période de rumination est donc une succession extrêmement régulière de cycles, de durée pratiquement constante pour un animal et une ration donnée, appelés les cycles méryciques (Jarrige et al., 1995).

À la naissance, dans la plupart des systèmes de production laitière caprine, les jeunes sont séparés de leur mère et allaités artificiellement. La phase lactée chez le ruminant est particulière car elle correspond à une étape intermédiaire entre les stades de pré-ruminant et de ruminant. Cette transition, qui s'accompagne de l'activation fonctionnelle de tous les compartiments de l'estomac (on dit que les ruminants sont polygastriques), a lieu à mesure que l'ingestion d'aliments solides se met en place. En même temps que cette ingestion se développe, une distension du rumen apparaît. Le sevrage, qui correspond au passage à une alimentation exclusivement solide, est une étape critique de la vie du ruminant. En plus de l'ingestion, le comportement alimentaire des ruminants est caractérisé par un phénomène de rumination, c'est-à-dire de régurgitation et de remastication du bol alimentaire afin d'appliquer une nouvelle dégradation mécanique sur les aliments qui, une fois digérés, fourniront l'énergie nécessaire pour les besoins de production, de croissance et d'entretien des animaux.

1.1.2. Expression du comportement alimentaire

Le comportement alimentaire s'exprime habituellement lors de trois étapes chez l'animal : la recherche, le choix, et l'ingestion des aliments. La rumination est une quatrième étape présente chez les animaux polygastriques. Les individus ont donc à prendre de nombreuses décisions durant le processus d'alimentation concernant : où manger, quoi manger, pendant combien de temps, comment explorer les potentielles sources alimentaires, trouver les bons aliments à ingérer etc. (Toates, 1986 ; Broom et Fraser, 2015).

Dans cette partie, nous allons nous intéresser à quelques composantes de chacune des quatre étapes caractérisant le comportement alimentaire des ruminants, d'abord dans le jeune âge puis à l'âge adulte, avec des exemples non exhaustifs pour des animaux au pâturage ou en bâtiments. La comparaison du comportement alimentaire entre le pâturage et à l'auge peut s'avérer délicate. En effet, dans la majorité des études sur le comportement à l'auge, les auteurs utilisent des systèmes d'alimentation intensifs, souvent avec de forts

pourcentages de concentré dans la ration, tandis qu'au pâturage il y a souvent une absence d'apport de concentré. De plus, le fourrage utilisé dans les études est bien souvent différent en termes de composition ou de qualité. Les études et leurs résultats sont donc dépendants de situations et de protocoles expérimentaux bien précis et ne peuvent pas toujours être généralisés.

1.1.2.1. Dans le jeune âge

1.1.2.1.1. En présence de la mère (allaitement maternel)

Lorsqu'ils sont allaités par la mère, les jeunes ruminants présentent une augmentation de leur activité alimentaire à l'aube et au crépuscule (Odde et al., 1985). Les veaux réalisent généralement 4 à 10 périodes de tétée par jour avec une moyenne de 7 à 10 min par période (De Passillé, 2001). La fréquence de tétée et le temps total passé à téter va diminuer au fur et à mesure que la lactation progresse, en lien avec le déclin de la production de lait (Hinch, 1989).

En présence de leur mère, les jeunes ruminants vont commencer à ingérer du fourrage tôt dans le jeune âge, vers 2 à 3 semaines. Leur ingestion, leur vitesse d'ingestion ainsi que le temps passé à brouter vont ensuite augmenter à peu près linéairement avec l'âge et le poids. Chez des veaux, Nicol et Sharefeldin (1975) ont montré que lors des premières semaines de vie les jeunes broutaient lentement sur de courtes périodes de temps (de 10 à 15 min), puis le temps passé à brouter augmentait d'environ 20 min à 10 jours jusqu'à 360 min à 100 jours, ce qui correspond à environ 70 % du temps passé à brouter à l'âge adulte. La quantité de fourrage ingérée par kg de poids vif va doubler chez le veau entre 3 et 8 mois et va tripler chez l'agneau entre 5 et 12 semaines. Les profils alimentaires des jeunes ruminants deviennent rapidement le miroir de ceux des adultes avec des pics d'activité similaires (Nicol et Sharefeldin, 1975).

1.1.2.1.2. En l'absence de la mère (allaitement artificiel)

Les systèmes d'élevage qui séparent les jeunes de leur mère peuvent être contraignants pour le comportement alimentaire des jeunes car ils sont alimentés artificiellement. Les pratiques varient considérablement entre les élevages en termes

d'approche pour délivrer le lait ou l'aliment d'allaitement (par exemple seau vs tétines, Hammell et al., 1988 ; Jasper et Weary, 2002), avec la présence ou non d'un groupe social (en groupe ou par paires vs individuel, Chua et al., 2002) ou encore pour le type d'aliment solide offert (par exemple du fourrage vs du concentré, Castells et al., 2012). Si l'on prend à titre d'exemple les systèmes où l'accès à l'aliment d'allaitement est *ad libitum*, le profil alimentaire des veaux sera proche de celui de ceux en allaitement sous la mère : avec une augmentation de l'activité alimentaire à l'aube et au crépuscule (Appleby, 2001 ; Miller-Cushon et al., 2013). Cependant, un pic lorsque l'aliment est distribué est également présent, plus précisément avec 74 % de l'ingestion totale journalière réalisée pendant les deux repas suivant les deux distributions (Appleby et al., 2001). La fréquence des tétées chez les veaux allaités artificiellement est aussi similaire à celle rencontrée en conditions naturelles avec 4 à 10 périodes de tétées par jour, pour une ingestion moyenne de 10 kg de lait par jour à l'âge de quatre semaines (Appleby, 2001 ; Miller-Cushon et al., 2013). Chez des agneaux âgés de 5 à 28 jours, David et al. (2014) ont montré que la fréquence des repas était d'environ 10 repas par jour, d'une durée moyenne de 4 min par repas et d'un temps moyen passé à téter par jour de 38 min.

Il est à noter qu'une grande variabilité entre les individus est présente. De Passillé et al. (2016) ont rapporté une large échelle de variation pour l'ingestion journalière chez des veaux de race Holstein durant leurs deux à quatre premiers jours de vie lorsqu'ils sont nourris *ad libitum* allant de 2,4 à 12 litres ingérés par jour, avec une moyenne de 6,7 litres journaliers. David et al. (2014) ont également rapporté une forte variabilité pour les agneaux avec des ingestions journalières allant de 0,3 à 2,9 litres.

Qu'ils soient allaités par la mère ou en allaitement artificiel, les jeunes ruminants vont présenter des profils alimentaires similaires avec une activité importante à l'aube et au crépuscule. Les jeunes alimentés artificiellement vont également présenter un pic d'ingestion après la distribution de l'aliment d'allaitement. L'ingestion de fourrage intervient tôt dans le jeune âge. L'ingestion, la vitesse d'ingestion ainsi que le temps passé à brouter vont ensuite augmenter à peu près linéairement avec l'âge et le poids. Une forte variabilité inter-individuelle quant à l'ingestion journalière a également été mise en évidence.

1.1.2.2. À l'âge adulte

Les différentes étapes du comportement alimentaire, c'est-à-dire la recherche, le choix, l'ingestion des aliments et la rumination sont dépendantes de nombreux facteurs (cf. partie 1.1.3. de ce chapitre). Les composantes de chaque étape du comportement alimentaire sont donc très variables. Ainsi, des généralités ne pourront pas toujours être tirées des parties suivantes, mais je m'appuierai sur quelques exemples pour illustrer l'expression du comportement alimentaires chez les ruminants adultes.

La recherche et le choix des aliments

La première étape du comportement alimentaire est de rechercher et de choisir les aliments à ingérer. Dans ce but, les animaux au pâturage peuvent parcourir de longues distances, 2 à 8 km par jour pour les bovins ou encore environ 6 km par jour pour les moutons (Broom et Fraser, 2015). Les ruminants vont sélectionner les aliments à ingérer qui vont être de qualité et de disponibilité variables, en fonction des caractéristiques de l'espèce végétale comme le stade phénologique, l'état de la plante etc. Le choix des aliments est tout d'abord guidé par les sens : la vue, le toucher au niveau des lèvres et de la bouche, l'odorat et le goût (Toates, 1986 ; Forbes, 1998 ; Favreau-Peigné et al., 2013). La palatabilité de l'aliment, c'est-à-dire ses caractéristiques physiques et chimiques, va provoquer une réaction des sens afin de déterminer les préférences de l'animal (Gallouin et Le Magnen, 1987 ; Baumont, 1996). Des variations de préférences alimentaires existent entre individus d'un

même troupeau, mais il est tout de même possible de décrire les préférences en fonction de l'espèce, de la race, du stade physiologique ou encore de l'état de faim des animaux (Dumont, 1996). Les chèvres vont ainsi le plus souvent choisir de se nourrir de plantes arbustives, tandis que les moutons ou les vaches vont plutôt ingérer des espèces herbacées. Ensuite, les mécano- et chémo-recepteurs du tube digestif vont transmettre les informations au système nerveux central afin en retour de maintenir ou stopper l'ingestion (Forbes, 1992). La faim et la satiété contrôlent les moments de début et de fin de chaque repas (Toates, 1986 ; Jean-Blain, 2002). La faim, qui est caractérisée par un état de malaise et un désir de nourriture, peut se définir comme une perception de l'état des besoins organiques lorsqu'un individu ne s'est pas alimenté depuis un certain temps (Gallouin et Focant, 1980). La satiété, tout comme la faim, est une perception interne qui peut être décrite comme « un état euphorique apparaissant après une ingestion capable en général de satisfaire les besoins organiques » (Gallouin et Focant, 1980). Lorsque l'animal mange, ses besoins ne sont pas encore couverts, donc la satiété est également constituée d'un état d'anticipation (Gallouin et Focant, 1980).

Des confrontations répétées avec l'aliment vont ensuite permettre à l'animal d'associer le goût et les conséquences post-ingestives induites. Ces deux paramètres sont alors pris en compte dans le choix final de l'animal, et vont ainsi permettre d'éviter tout excès ou carence nutritionnelle, tout en atteignant rapidement un niveau de satiété satisfaisant (Forbes et Kyriazakis, 1995 ; Baumont, 1996).

En bâtiments, les méthodes de distribution de l'aliment ainsi que l'aliment lui-même diffèrent aussi bien en termes de quantité, qualité, distribution spatiale, accessibilité, composition du régime ou encore fréquence de distribution. Dans la majorité des cas, le comportement de recherche alimentaire n'est pas nécessaire et donc pas réalisé (Bels et al., 2006). En comparaison avec les autres ruminants, les chèvres ont un comportement de sélection des aliments très marqué et tendent à laisser plus de refus dans l'auge si l'aliment est proposé *ad libitum* (Morand-Fehr, 2003). De plus, un choix parmi plusieurs aliments connus va être réalisé par les chèvres afin de diversifier au maximum leur régime, dans la mesure où ces aliments ne créent aucune perturbation digestive ou métabolique (Abijaoudé et al., 2000b).

La fréquence et la taille des bouchées

Après avoir recherché et sélectionné quoi manger, les ruminants vont ingérer les aliments par bouchées. Au pâturage, la fréquence des bouchées est sensiblement plus grande chez les bovins que chez les ovins : entre 40 et 60 bouchées par minute chez la vache adulte, entre 40 et 70 bouchées par minute pour le bovin en croissance, contre 35 à 65 bouchées par minute chez les brebis adultes (Forbes et Hodgson, 1985 ; Delagarde et al., 2001 ; Rutter et al, 2002). La taille des bouchées varie entre les espèces (Delagarde et al., 2001), en raison de différences morphologiques.

À l'auge, comme les animaux ne vont pas avoir à rechercher leurs aliments et vont moins pouvoir sélectionner, ils vont prélever des bouchées plus grosses et moins nombreuses qu'au pâturage. À titre d'exemple, des bovins consommant de la luzerne fraîchement coupée feront 5 à 6 fois moins de bouchées par minute que des bovins mangeant cette même luzerne sur pied, et les bouchées seront 4 à 7 fois plus grosses (Dougherty et al., 1989).

La vitesse d'ingestion

La vitesse d'ingestion correspond à la quantité d'aliment ingérée par unité de temps. Elle peut être variable au sein même d'une période d'ingestion, par exemple entre le début et la fin de la période. En effet, des moutons fistulés nourris *ad libitum* ont montré une vitesse 2 à 5 fois plus grande au début qu'à la fin du repas (Baumont et al., 1997). La vitesse initiale du repas va représenter la motivation de l'animal à manger, et la constante décélération correspond au phénomène de satiété (Kenney et Black, 1984 ; Baumont et al., 2000). La diminution de la vitesse d'ingestion va aussi résulter de deux autres phénomènes : 1) une diminution de la fréquence de déglutition des bols alimentaires qui sont mastiqués plus longuement, et 2) l'apparition de plus en plus fréquente de courtes interruptions de l'activité masticatoire (Jarrige et al., 1995).

Le nombre de périodes d'ingestion, leur taille et leur durée

Les bouchées peuvent ensuite être regroupées afin de former des périodes d'ingestion ou repas. Ces périodes peuvent ainsi être caractérisées par leur nombre, leur taille et leur durée. Il est souvent suggéré que les animaux au pâturage ne peuvent pas être caractérisés comme des « mangeurs de repas » étant donné qu'ils semblent passer la majeure partie de leur journée à manger. En effet, la lenteur avec laquelle ils récoltent les fourrages entraînerait des repas très longs. On parlera donc plus facilement de périodes passées à brouter que de repas, bien que certains auteurs utilisent tout de même le terme repas au pâturage.

Les troupeaux de ruminants hébergés sous des climats tempérés vont passer 6 à 8 périodes à brouter dont les deux principales correspondent au lever et au coucher du soleil (Hughes et Reid 1951 ; Bels, 2006). La première période principale, qui est matinale, dure 2 à 3 heures tandis que la période vespérale dure un peu plus longtemps. Entre ces deux grandes périodes, quelques autres périodes plus courtes vont avoir lieu, notamment en fin de matinée (Penning et al., 1991 ; Jarrige et al., 1995). Quand il existe un moment de pâturage nocturne, il se situe vers le milieu de la nuit.

En bâtiments, l'intervention de l'éleveur va modifier ou renforcer le rythme naturel des animaux. Les ruminants reçoivent généralement leur ration journalière en deux distributions par jour, à la suite des traites pour les animaux laitiers. Ils vont donc réaliser deux repas principaux suivant les deux distributions journalières (Abijaoudé et al., 1999). Les repas principaux sont caractérisés par leur longue durée (Abijaoudé et al., 2000a). En plus de ces deux repas, les ruminants vont réaliser un certain nombre de petits repas secondaires, moins importants en termes de durée mais aussi de taille (par exemple Baumont et al., 1997 pour les moutons ; Abijaoudé et al., 2000a pour les chèvres).

Dans les expérimentations où les animaux recevaient leur ration en une seule fois par jour *ad libitum*, ils effectuaient un très grand repas qui pouvait être aussi important en poids et en durée que les deux repas habituels (par exemple Baumont et al., 1990 pour les moutons).

La quantité ingérée et la durée d'ingestion journalière

Une échelle plus large permettant d'étudier le comportement alimentaire correspond à l'échelle de la journée. Les périodes d'ingestion sont regroupées afin d'obtenir la quantité ingérée et la durée d'ingestion journalières.

Les durées d'ingestion des animaux hébergés en bâtiments vont être de 30 à 50 % plus courtes que celles des animaux au pâturage (Bels, 2006). Pour des ruminants alimentés *ad libitum*, la durée d'ingestion journalière se situera entre 3 et 8 heures par jour, bien que 60 à 80 % de la quantité ingérée journalièrement soit concentrée au cours des repas principaux suivant chaque distribution (Baumont et al. 1997). Il est aussi à considérer que durant leurs repas les ruminants vont interrompre leurs mouvements de mastication pour déglutir, pour explorer la nourriture ou pour se rendre à l'abreuvoir, pauses qui peuvent compter dans la durée d'ingestion en fonction des calculs utilisés par les auteurs pour définir les repas. Ce dernier point est discuté dans le **chapitre 6**.

La rumination

La rumination est un comportement alimentaire particulier aux ruminants. Qu'elle soit réalisée en extérieur comme en bâtiments, la rumination constitue une part importante de leur budget temps. Elle est constituée de cycles d'une durée légèrement inférieure à une minute (cycles méryciques) regroupés. Pour des ruminants nourris deux fois par jour, la rumination a principalement lieu la nuit, en début de matinée et en début d'après-midi (Beauchemin et al., 1990 ; Deswysen et al., 1993 ; Fisher et al., 2002). D'après Dulphy et Faverdin (1987), la durée des périodes de rumination ainsi que l'intervalle de temps séparant deux périodes consécutives sont rarement inférieurs à 20 minutes.

Le comportement alimentaire s'exprime habituellement lors de trois étapes chez l'animal : la recherche, le choix et l'ingestion des aliments. La rumination est une quatrième étape présente chez les animaux polygastriques. Le comportement alimentaire est régulé par plusieurs mécanismes tels que la faim, la satiété, les effets post-ingestifs ou encore la palatabilité. Une fois que l'aliment est trouvé et choisi, l'ingestion peut être caractérisée en fonction de différentes échelles qui vont de la bouchée à l'ingestion journalière en passant par les repas (**Figure 3**). Chez les ruminants, il existe généralement deux repas principaux, correspondant aux moments de la distribution de la ration dans les élevages en bâtiments, suivis de repas secondaires tout au long de la journée. De plus, comme dans le jeune âge, une forte variabilité individuelle est présente.

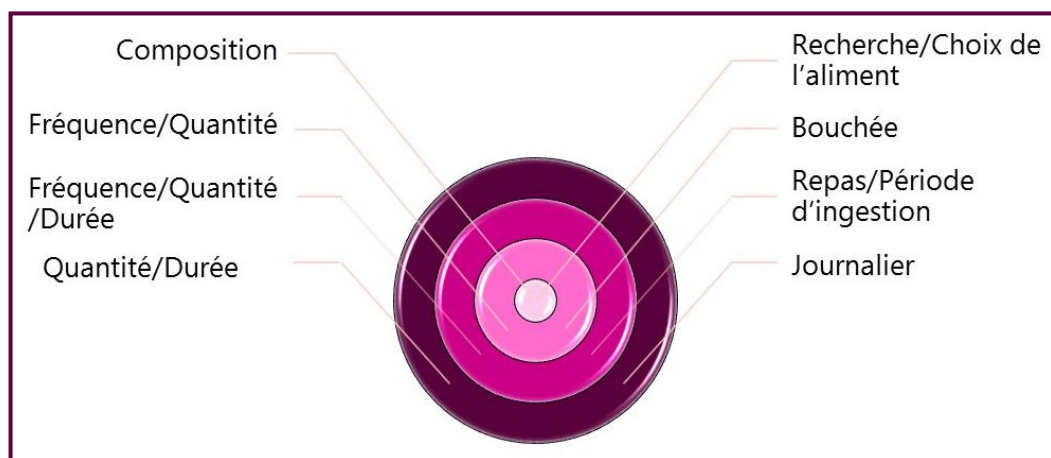


Figure 3. Figure récapitulative des composantes du comportement alimentaire et des variables pouvant le caractériser.

1.1.3. Facteurs influençant le comportement alimentaire

Le comportement alimentaire (régulé par la rétroaction entre l'appétit et la satiété) est la réponse aux mécanismes homéostatiques qui motivent l'animal à acquérir des nutriments. De très nombreux facteurs influençant le comportement alimentaire des ruminants ont été relevés, tels que les facteurs liés à l'animal (âge, poids, stade physiologiques...), au système d'élevage, à la gestion de l'alimentation ou encore à l'environnement de l'animal (**Figure 4**). Quelques-uns de ces facteurs illustrés par des exemples sont présentés dans cette partie.

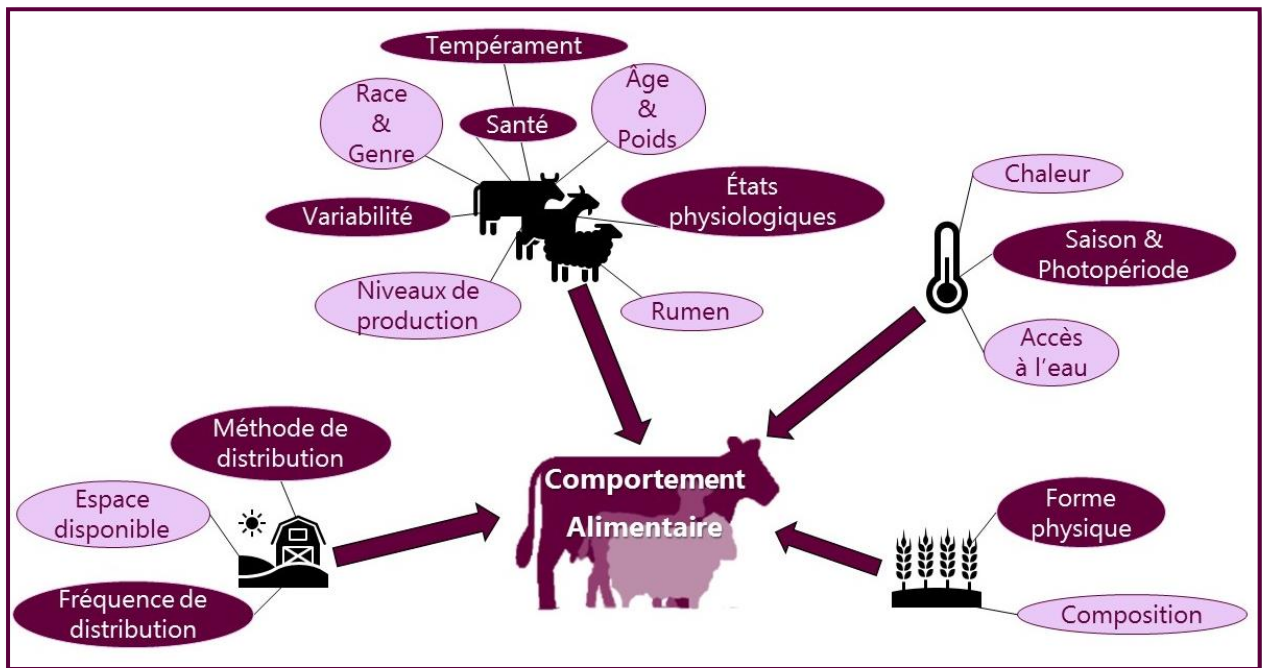


Figure 4. Représentation schématique des facteurs principaux pouvant influencer le comportement alimentaire des ruminants.

1.1.3.1. Les facteurs liés à l'animal

L'âge et le poids

L'activité des jeunes juste après la naissance est totalement orientée vers la recherche de lait. Par exemple, la plupart des agneaux vont trouver les mamelles de leur mère en moins de deux heures et pourront ensuite téter jusqu'à 50 fois dans les premières 24 h. A l'âge de quatre semaines, ils ne seront cependant allaités plus que six fois par jour environ (Forbes, 2007 ; Jarrige et al., 1995). La fréquence et la durée des tétées vont donc diminuer avec l'âge (Hinch et al., 1989). De nombreux auteurs ont ainsi montré une diminution pouvant aller de 28 à 49 % de la fréquence de tétées entre les âges d'une à cinq semaines (Ewbank, 1967 ; Gordon et Siegmann, 1991).

Le jeune ruminant allaité par sa mère au pâturage va voir son ingestion de fourrage augmenter à peu près linéairement avec son poids au-delà de 3 à 4 semaines après la naissance chez l'agneau (Penning et Gibb, 1979) et au-delà de 2 à 3 mois chez le veau (Le Neindre et al., 1976 ; Baker et al., 1981). Dès le deuxième mois, le jeune ruminant va commencer à effectuer le même nombre de repas que sa mère, en augmentant progressivement leur durée. Faichney (1992) a quant à lui observé chez des agneaux

hébergés en bâtiments avec leur mère, et qui avaient accès à une alimentation solide dès l'âge de trois semaines, que pendant les dix premiers jours la consommation d'aliments solides était faible, mais qu'à partir de la quatrième semaine leur consommation augmentait, avec de grandes variations journalières.

Chez des bovins de boucherie âgé de 7 à 18 mois, [Puzio et al. \(2019\)](#) ont montré que la fréquence de visites à la mangeoire et la fréquence des repas ont diminué avec l'âge. Leur ingestion d'ensilage d'herbe ainsi que la durée et la taille des repas augmentaient néanmoins avec l'âge. L'évolution du comportement alimentaire pendant la période de croissance post-sevrage est essentiellement liée aux contraintes de développement du format de l'animal. L'augmentation de la quantité ingérée avec le poids vif constatée chez les ruminants adultes est essentiellement liée à l'augmentation des besoins d'entretien et à la taille des compartiments digestifs.

Il est à noter que l'âge et le poids vif sont corrélés et que l'augmentation du poids ou de l'âge sont associés à des évolutions concomitantes des stades physiologiques.

Races et genre

La race est un des facteurs, avec la parité de la mère et la taille de portée, qui peut influencer la vigueur des nouveau-nés qui elle-même influence la quantité de colostrum ingérée ([Vasseur et al., 2009](#)). Les agneaux de la race Suffolk par exemple sont plus lents à réussir à téter dans les deux premières heures suivant la naissance que ceux de la race Blackface ([Dwyer et al., 2005](#)). Les auteurs expliquent cette différence par une différence du développement placentaire entre ces deux races, c'est-à-dire que les brebis Suffolk seraient moins efficaces que les Blackface pour transférer les nutriments au fœtus et auraient donc des nouveau-nés plus faibles. De plus, les brebis Suffolks sont également connues pour montrer un degré d'éloignement fort quand les agneaux tentent de téter. Néanmoins, les différences de comportement alimentaire ne se retrouvent pas entre toutes les races. En comparant le comportement de tétées d'agneaux en allaitement maternel de race Romney et de race croisée Booroola Merinos x Romney, [Hinch et al. \(1989\)](#) n'ont pas observé de différences.

Chez les bovins, [Nkrumah et al. \(2007\)](#) ont étudié le comportement alimentaire de bovins de boucherie de race Charolaise et Angus. Ils ont montré que les Charolais réalisaient plus de repas par jour que les Angus, bien que la durée journalière d'ingestion ne variait pas entre les races. Les variables du comportement alimentaire peuvent donc être influencées différemment par la race.

Chez les chèvres, [Aharon et al. \(2007\)](#) ont montré que les chèvres Boer passaient moins de temps à paître que la race locale Mamber, mais la diversité du spectre alimentaire choisi était plus importante chez les Boers (8 espèces contre 4). Les auteurs suggéraient que, comme les Boers étaient moins familières avec la végétation de la région, elles passaient plus de temps à tester les plantes et notamment leurs effets post-ingestifs.

Quand plusieurs races vivent ensemble, elles peuvent dépendre de la même ressource alimentaire et une compétition pour la ressource peut avoir lieu. Dans ce cadre, des chèvres de race Boer et Nguni, qui sont élevées ensemble en Afrique, ont été étudiées par [Dziba et al. \(2003\)](#) afin d'observer la répartition des ressources entre ces deux races sur la base de la hauteur d'alimentation. Les auteurs ont ainsi montré que les deux races ne présentaient pas de préférence en matière de hauteur d'alimentation. Ils s'attendaient à ce que les chèvres Boers, qui sont plus grandes et donc avec une plus grande bouche, aient une taille de bouchée plus grande que les Ngunis, ce qui n'est pas vérifié ici.

Les genres ne présentent pas le même comportement alimentaire. Les chèvres et les boucs (de race croisée non définie) par exemple, placés dans un même environnement au pâturage, ont un régime alimentaire différent ([Mellado et al., 2005b](#)). Par exemple, pendant la saison des pluies, le régime alimentaire des mâles était plus riche en arbustes que celui des femelles, tandis que pendant la saison sèche l'inverse était observé. Cette différence pourrait entre autres être due à des aptitudes de recherche de nourriture différentes entre les sexes et à un dimorphisme qui permettrait aux mâles d'avoir un meilleur accès aux plantes ligneuses.

Les effets du genre ont aussi été étudiés par [Puzio et al. \(2019\)](#) sur les paramètres du comportement alimentaire de taureaux (non castrés) et de bœufs (castrés) nourris à l'ensilage d'herbe. Le nombre de visites à la mangeoire ainsi que la fréquence des repas

étaient plus élevés chez les bœufs que chez les taureaux. Les bœufs réalisaient néanmoins des repas plus petits en taille et plus courts que les taureaux. La durée d'ingestion journalière était également plus longue chez les bœufs. Les différences de comportement alimentaire observées entre bœufs et taureaux pourraient être dues à un taux de testostérone et d'hormones liées à l'appétit plus élevé chez ces derniers. Une autre raison pourrait être une plus grande compétition rencontrée chez les taureaux, due à la testostérone, mais également car les taureaux passent plus de temps dans des activités non alimentaires comme les activités sexuelles, ce qui augmente la dépense énergétique et pourrait stimuler l'appétit.

Le comportement est déterminé en partie génétiquement et en partie écologiquement (Jensen, 2002). Des différences entre les races existent, probablement parce que chaque race a été sélectionnée pour ses bonnes performances dans un système d'élevage particulier. Les races peuvent aussi être de bons indicateurs de traits comportementaux pouvant avoir une valeur économique pour l'éleveur. Il est donc utile de connaître les différences de comportement entre les races. Le genre est également un facteur affectant le comportement alimentaire des individus, de part des différences morphologiques mais aussi probablement par des différences hormonales.

Stades physiologiques et stades de lactation

Chez des chèvres en système de libre choix, à qui six aliments étaient proposés simultanément en quantité illimitée (foin de luzerne, foin de pâturage, orge en flocons, pois chiches, fèves et pulpe de betteraves), Fedele et al. (2002) ont mis en évidence que la quantité de matière sèche ingérée avait fortement augmenté juste avant la mise bas (de 12 %). La composition de l'ingéré avait également évolué en fonction du stade physiologique des chèvres : l'ingestion d'orge et de pulpe de betteraves avait diminué pendant la gestation, en revanche l'ingestion de pois chiches, de fèves et de foin de luzerne avait augmenté. Après la mise-bas, d'importants changements de la composition de l'ingéré ont eu lieu tout au long de la lactation. Cette adaptation du régime alimentaire pourrait être interprétée comme une meilleure réponse aux besoins physiologiques.

Sur parcours, il a été montré que des chèvres non-gestantes consommaient des arbustes

mais évitaient les plantes herbacées tandis que les chèvres gestantes préféraient consommer des plantes herbacées (Mellado et al., 2005a). De même, les chèvres en lactation consommaient plus de plantes herbacées et moins d'arbustes que les chèvres non-lactantes. Cette étude a mis en évidence que le stade physiologique (gestante vs non-gestante) et que le stade de lactation (en lactation vs non-lactante) pourrait expliquer certaines différences dans la sélection alimentaire par les chèvres. Les besoins accrus en nutriments de ces animaux en gestation et en lactation ont été associés à une utilisation plus importante de plantes herbacées.

Le comportement alimentaire varie en fonction de la production laitière (par exemple Holter et Urban, 1992 ; Johnston et DeVries, 2018). Ainsi, Dado et Allen (1994) ont montré que chez des vaches multipares, plus la production laitière était élevée, plus la taille et la durée des repas était élevée alors que le nombre de repas ne changeait pas. En revanche, chez les primipares, la production laitière était positivement corrélée au nombre de repas et à la vitesse d'ingestion, mais sans lien avec la taille des repas. Azizi et al. (2009) ont rapporté des résultats similaires, également en étudiant des vaches primi- et multipares. Les auteurs expliquent ces différences par un remplissage accru du rumen des vaches primipares et à des différences dans les demandes énergétiques pour la lactation.

Variabilité inter- et intra-individuelle

La thématique de la variabilité individuelle est au cœur de nombreux questionnements et son importance dans les systèmes biologiques n'est pas nouvelle. En effet, la variabilité individuelle, lorsqu'elle est modulée par les pratiques de conduite d'élevage, peut permettre de conférer des propriétés de résilience et de stabilité du troupeau. Il existe peu d'études comparant le comportement alimentaire d'espèces différentes recevant les mêmes fourrages alors que pour couvrir leurs besoins, les différentes espèces peuvent organiser différemment leurs activités alimentaires. Dans ce contexte, Dulphy et al. (1990) ont observé le comportement alimentaire de cinq types d'animaux comprenant des moutons, des brebis, des chèvres, des taurillons et des vaches. Ils ont ainsi mis en évidence 1) que pour arriver à un niveau d'ingestion donné, les différents individus et les différentes

espèces peuvent organiser leurs activités alimentaires de façon très différentes avec par exemple un nombre de petits repas variable, une ingestion plus ou moins rapide ; 2) qu'il existe plus de différences entre des individus d'une même espèce qu'entre des espèces différentes. En effet, à poids, stades et productions similaires, dans des environnements constants et avec les mêmes aliments, des différences considérables de comportement alimentaire entre les individus au sein d'un même troupeau peuvent être remarquées (Kyriazakis et al., 1999). Plusieurs études ont d'ailleurs montré une grande variabilité entre les individus en ce qui concerne la fréquence et taille des repas ou le temps passé à manger par jour (Friggens et al., 1998b ; Schwartzkopf-Genswein et al., 2002 ; DeVries et al., 2003b ; Giger-Reverdin et al., 2012). Melin et al. (2005b) ont d'ailleurs montré que 84 à 98 % de la variabilité des profils du comportement alimentaire observée pouvait être attribuée à des différences individuelles entre les vaches laitières qu'ils étudiaient, et ont conclu que les vaches développaient un comportement alimentaire constant au cours du temps qui permettait de caractériser l'individu. La rythmicité des activités alimentaires au cours de la journée est également soumise à une variabilité individuelle forte, comme cela a été montré chez des génisses (Deswysen et al., 1993). Ces variations du comportement alimentaire à court terme, i.e. en termes de périodes d'alimentation ou repas, entre les individus suggèrent qu'ils sont capables d'utiliser des stratégies différentes pour atteindre leurs ingestions journalières souhaitées (Friggens et al., 1998b).

En plus de l'existence d'une variabilité inter-individuelle importante, certains auteurs ont montré que les ruminants avaient un comportement alimentaire stable au cours du temps (Friggens et al., 1998a ; Melin et al., 2005b ; Giger-Reverdin et al., 2020). Il n'est encore pas bien compris pourquoi des individus d'un même troupeau, vivant dans les mêmes conditions, vont présenter un comportement alimentaire différent, pourquoi le comportement alimentaire d'un individu semble stable au cours du temps et comment les animaux adaptent leur comportement alimentaire à des changements de leur environnement.

La personnalité

La personnalité fait référence aux différences individuelles dans les traits comportementaux et physiologiques, qui sont constantes dans le temps et les contextes (Réale et al., 2007). Chez les animaux d'élevage, les traits de personnalité le plus souvent étudiés sont la peur, la réactivité, la docilité et l'agressivité (Finkemeier et al., 2018). Une étude de Llonch et al. (2018) sur des bovins a mis en évidence que les animaux à la personnalité forte (dominants et avec un score de tempérament élevé) visitaient plus souvent la mangeoire et passaient en moyenne moins de temps à manger et en quantité moins importante par repas que les individus avec une personnalité plus faible (dominé et avec un score de tempérament faible). Ces animaux seraient plus réactifs à la présence des congénères dans l'enclos ce qui augmenterait la probabilité d'une interruption de l'alimentation.

Le lien entre le comportement alimentaire et la personnalité des individus peut donc être intéressant à développer pour permettre d'utiliser la personnalité comme indice de sélection du comportement alimentaire des individus. Ce lien est abordé plus en détail dans la partie perspectives du **chapitre 6**.

La santé

Lorsqu'un animal présente un problème de santé, une série de modifications comportementales va apparaître. Il va le plus souvent se retrouver dans un état léthargique au cours duquel il va réduire son activité, son ingestion d'aliments et d'eau, dormir davantage et notamment à des moments où il est normalement éveillé, et moins interagir avec ses congénères (Hart, 1988). Ce comportement de maladie peut commencer avant les symptômes cliniques réels de la maladie. Il serait donc possible d'utiliser les changements comportementaux comme signes précurseurs afin de détecter une maladie et d'y remédier le plus tôt, tout en réduisant l'apport en médicaments.

Le développement des outils de l'élevage de précision offre la possibilité de surveiller en permanence les animaux afin de détecter de façon systématique de tels changements de

comportement. Thorup et al. (2016) ont ainsi utilisé des accéléromètres et ont caractérisé pour la première fois le comportement alimentaire individuel des vaches affectées par une boiterie. Ils ont ainsi montré que les boiteries réduisaient le temps et la fréquence d'ingestion journalière, mais augmentaient la vitesse d'ingestion. La boiterie n'affectait d'ailleurs pas le comportement de rumination, la quantité ingérée ou la production de lait. L'augmentation de la vitesse d'ingestion relevée pourrait être un mécanisme visant à maintenir une certaine ingestion, ou bien les vaches malades, qui seraient moins capables de rivaliser avec succès pour accéder à la mangeoire, mangeraient plus rapidement lorsqu'elles y auraient accès (Schirmann et al., 2012). En revanche, Bareille et al. (2003) ont mis en évidence aussi chez les vaches que les signes cliniques de boiterie associés à des lésions du jarret ou du pied provoquaient une diminution de l'ingestion de matière sèche quatre et cinq jours avant le diagnostic clinique. Les boiteries étant douloureuses, les auteurs supposent que les vaches étaient réticentes à se déplacer, même vers la mangeoire.

Une diminution de l'ingestion au cours des premières semaines suivant la mise-bas pourrait aussi être un signe de métrite, c'est-à-dire d'une infection de l'utérus (Huzzey et al., 2007). Des vaches multipares diagnostiquées par la suite avec une métrite ou une rétention placentaire dans l'étude de Luchterhand et al. (2016) avaient eu tendance à passer moins de temps à manger avant la mise-bas que des vaches saines. En 2010, von Keyserlingk et Weary ont observé que, la semaine précédant le vêlage, pour chaque diminution de 10 minutes du temps d'ingestion, la probabilité qu'une vache souffre de mammite grave augmentait de 1,72 fois. La probabilité augmentait à près de trois fois pour chaque diminution de 1 kg de matière sèche ingérée. Une diminution du temps de rumination a aussi été associée à l'apparition d'une maladie comme la boiterie (Miguel-Pacheco et al., 2014), la mammite (Siivonen et al., 2011 ; Fogsgaard et al., 2012) ou encore des troubles métaboliques (DeVries et al., 2009).

Les changements de comportement alimentaire pourraient alors être utilisés comme indice précurseur de maladie.

Outre la relation de cause à effet entre les problèmes de santé et les changements du comportement alimentaire, il existe certains cas où les changements de comportement

alimentaire peuvent augmenter le risque de maladie. Un exemple est la relation entre le temps passé à manger et l'acidose ruminale. L'ingestion d'aliment et les fermentations qui s'en suivent déterminent la production d'acides gras volatils dans le rumen, tandis que la mastication détermine la quantité salivaire produite, qui pourra limiter la chute du pH dans le rumen grâce aux substances tampon (Beauchemin et al., 1994). Par conséquent, ces deux composantes du comportement alimentaire, ingestion et mastication, vont être étroitement liées au pH et à l'équilibre acido-basique dans le rumen. La compétition sociale par exemple va obliger les animaux à passer moins de temps à se nourrir, la vitesse d'ingestion va alors augmenter, ce qui pourra entraîner une réduction de la salivation (Maekawa et al., 2002) augmentant in fine la susceptibilité à l'acidose (Owens et al., 1998). L'acidose ruminale s'accompagnera ensuite de périodes où la prise alimentaire sera réduite et irrégulière (Calsamiglia et al., 2012). Il serait alors possible de différencier les animaux susceptibles de souffrir d'acidose ou non en les caractérisant sur leur comportement alimentaire (Giger-Reverdin et al., 2012).

Les changements de comportement peuvent donc être à la fois des indicateurs et des causes de problèmes de santé, en particulier pour les maladies métaboliques telles que l'acidose ruminale.

De très nombreux facteurs liés à l'animal lui-même peuvent avoir une influence sur le comportement alimentaire. À titre d'exemple on peut citer la race, le stade physiologique ou encore la personnalité des individus. La santé peut à la fois influencer le comportement alimentaire et être influencée par ce comportement. Il est également à noter qu'une forte variabilité inter-individuelle existe pour des animaux élevés dans des environnements et des conditions similaires.

1.1.3.2. Les facteurs liés au système d'élevage

La présence de compétition ou de facilitation sociale

Les ruminants sont des animaux sociaux enclins à établir une hiérarchie de dominance, en particulier quand les ressources sont limitées comme à la mangeoire (Grant et Albright, 1995 ; Miranda-de la Lama et Mattiello, 2010). La position d'un individu dans la hiérarchie s'exprime souvent par des interactions agonistiques lors de l'obtention ou du maintien de l'accès aux ressources (Barroso et al., 2000 ; Miranda-de la Lama et Mattiello, 2010). Chez les chèvres, quatre stratégies sociales associées à la dominance ont été décrites (Miranda-de la Lama et al., 2011) : 1) les chèvres dites « passives » qui sont subordonnées et qui ne présentent pas de comportement agonistique, 2) les chèvres dites « évitantes » qui ont une faible participation aux conflits et qui les évitent, 3) les chèvres « agressives » qui sont très dominantes et servent d'intermédiaires dans les conflits sociaux, et 4) les chèvres « affiliées » qui ont une dominance moyenne et des comportements sociaux positifs. Les chèvres « passives » passeraient le moins de temps à la mangeoire tandis que les chèvres « évitantes » passeraient le plus de temps à se nourrir. Les chèvres « agressives » et « affiliées » passeraient un temps similaire à ingérer, mais auraient une durée d'ingestion intermédiaire aux chèvres « évitantes » et « passives ».

Chez les vaches, les génisses réagissent également différemment à un environnement alimentaire hautement compétitif, avec des individus qui sont très compétitifs et qui gardent une vitesse d'ingestion stable, contre des individus ayant adopté une stratégie de « mise à l'écart » caractérisée par une augmentation de la vitesse d'ingestion et l'évitement des interactions agonistiques (Zobel et al., 2011).

Ainsi, les individus adoptant des stratégies sociales différentes ont un comportement alimentaire différent.

Une période où la concurrence à la mangeoire est forte coïncide avec le retour des animaux après la traite et lorsqu'une nouvelle ration est offerte (Friend et Pola, 1974). Ainsi, une limitation de l'espace disponible à la mangeoire ou de la disponibilité de la nourriture peuvent exacerber les effets de la concurrence pour l'alimentation (Jørgensen et al., 2007). DeVries et von Keyserlingk (2009) ont rapporté qu'une concurrence croissante de 1 à 2

génisses par station d'alimentation n'affectait pas la prise alimentaire mais tendait à augmenter la vitesse d'ingestion et entraînait des repas moins nombreux et plus volumineux. Des changements de la vitesse d'ingestion peuvent alors être un bon indicateur de la pression sociale subie par les individus dans des environnements d'alimentation en groupe (Nielsen, 1999).

La dominance sociale peut être fortement corrélée à l'âge, et à la taille des individus (Šárová et al., 2013). Val-Laillet et al. (2008) ont mis en évidence des corrélations entre le rang hiérarchique et la parité : les vaches de rang élevé étaient plus âgées (l'âge étant déduit du nombre de parité). Elles ont d'ailleurs produit plus de lait que les vaches de rang inférieur, et avaient un temps d'accès plus long pendant les deux heures qui suivent la distribution de la ration. Ces observations suggèrent que les animaux de haut rang hiérarchique sont susceptibles d'avoir accès à une nourriture de plus haute qualité. Les individus subordonnés peuvent aussi ne pas avoir accès à la mangeoire quand ils le veulent et ainsi devoir s'alimenter à des moments de la journée moins préférés.

Il est tout de même à noter que Chase et al. (2002) ont montré que les caractéristiques individuelles, comme la morphologie ou la physiologie, ne déterminent pas toujours le rang hiérarchique des animaux.

Un effet d'entraînement ou de facilitation sociale peut aussi avoir lieu, c'est-à-dire que le comportement d'un individu est initié ou augmenté par la présence d'un autre individu qui adopte ce comportement (Zentall et Galef, 1988). Par exemple, chez les agneaux, lorsqu'un individu va téter, deux ou trois autres congénères le suivent (Stephens et Baldwin, 1971). Cela peut permettre en allaitement artificiel par exemple de favoriser l'apprentissage de la tétée au seau en plaçant un agneau expérimenté avec les nouveau-nés (Veissier et Stefanova, 1993). Pour les jeunes ruminants, la facilitation sociale peut influencer la rapidité avec laquelle les individus commencent à consommer les aliments solides. Comparés avec des veaux élevés seuls, les veaux qui ont été élevés en groupe de deux ou plus consommaient de l'aliment solide plus tôt, en consommaient plus (Babu et al., 2004 ; Hepola et al., 2006 ; De Paula Vieira et al., 2010), et présentaient également une plus grande fréquence de repas (Miller-Cushon et Devries, 2016). Elle peut aussi influencer la rumination

lorsque des génisses naïves sont envoyées au pâturage avec des compagnons expérimentés (Arrazola et al., 2020). La facilitation sociale encourage donc rapidement la prise alimentaire et peut aussi être bénéfique dans la période de transition qu'est le sevrage (Miller-Cushon et al., 2014).

L'ensemble des données concernant les espèces de ruminants, qu'ils soient au pâturage ou en bâtiments, suggère que l'apprentissage de l'environnement alimentaire est influencé par la présence de modèles sociaux. Chez les adultes élevés en groupe, une synchronisation des activités alimentaires et de repos est souvent observée (Rook et Penning, 1991 ; Nielsen et al., 1996), notamment quand l'aliment est disponible en permanence (Broom et Fraser, 2015). Des auteurs ont également mis en évidence que les individus qui sont logés ensemble pendant de longues périodes sont plus susceptibles d'être des partenaires préférentiels pendant l'alimentation (Aschwanden et al., 2008 ; Gutmann et al., 2015).

Le comportement alimentaire des ruminants, du fait de leur caractère social, va être largement influencé par les comportements sociaux. Les partenaires sociaux peuvent ainsi avoir un effet positif sur le comportement alimentaire en favorisant l'ingestion, mais aussi négatif lorsque des questions de dominance et de hiérarchie entrent en jeu.

La gestion de l'alimentation : espace disponible à la mangeoire, fréquence de distribution de la ration, méthodes de distribution de l'aliment

La gestion de l'alimentation est une considération importante dans la production animale car elle peut affecter les coûts de production et les performances des animaux. Le comportement alimentaire est particulièrement sensible à la gestion de l'alimentation.

Une considération majeure est d'avoir un espace disponible à la mangeoire par animal adéquat afin de garantir que le comportement alimentaire ne soit pas affecté négativement. L'espace minimum recommandé pour les chèvres laitières par exemple est de 33 à 44 cm par tête (Jørgensen et al., 2007 par exemple), mais il est souvent signalé comme inférieur (Muri et al., 2013 ; Battini et al., 2016). Un espace disponible inférieur entraîne alors une forte

compétition pour accéder à la mangeoire (Jørgensen et al., 2007), compétition qui influence le comportement alimentaire (cf. précédemment). Lorsque des ruminants sont nourris à une table d'alimentation collective, la longueur critique de l'espace par individu sous laquelle une compétition excessive intervient dépend de la taille du groupe et de la quantité d'aliment disponible. Jørgensen et al. (2007) ont montré chez les chèvres que 30 % d'entre elles réduisaient leur temps d'ingestion de plus de 40 %, et quelques chèvres le réduisaient même de plus de 80 %, lorsque l'espace disponible à la mangeoire était réduit. Des modèles de mangeoires ou d'auges peuvent néanmoins offrir une certaine protection pendant l'alimentation lorsqu'elles disposent de cloisons ou de bat-flancs au niveau de la tête permettant une séparation physique (Nordmann et al., 2015) ou encore des plateformes permettant de se nourrir à différentes hauteurs (Aschwanden et al., 2009).

La distribution des aliments dans les élevages de ruminants peut être réalisée selon trois approches : à volonté (ou *ad libitum*), en alimentation restreinte ou en gestion propre de la mangeoire. L'alimentation *ad libitum* vise à obtenir des refus en quantités minimales au moment de la distribution suivante tout en permettant aux animaux de consommer sans restriction (Erickson et al., 2003 ; Schwartzkopf-Genswein et al., 2003). L'alimentation restreinte vise à obtenir une proportion d'ingestion d'aliment inférieure de 5 à 10 % à celle prévue en *ad libitum* (Pritchard et Bruns, 2003). Cette méthode favoriserait une ingestion de matière sèche plus régulière au jour le jour, et réduirait le gaspillage et le comportement de tri (Pritchard et Bruns, 2003). Enfin, la gestion propre des mangeoires tente d'obtenir des mangeoires vides à certains moments de la journée et les aliments peuvent ne pas être disponibles pendant 8 à 12 heures par jour (Erickson et al., 2003). Cette gestion permettrait d'atteindre une ingestion moyenne à long terme plus importante que celle des animaux nourris à volonté (Pritchard et Bruns, 2003). Une critique de cette dernière méthode de distribution de l'aliment est que les animaux tendent à devenir des mangeurs de gros repas, ce qui peut entraîner une plus grande variabilité du pH ruminal au cours de la journée (Schwartzkopf-Genswein et al., 2003). Erickson et al. (2003) ont relevé que l'ingestion ne différait pas pour des bœufs nourris soit *ad libitum* soit en gestion propre mais qu'ils faisaient moins de repas et des repas plus copieux en gestion propre. Ces modifications

comportementales pourraient être dues à la faim ou à l'anxiété ressenties par ces animaux car la nourriture n'est pas disponible pendant des périodes variables chaque jour. Ainsi, à chaque nouvelle distribution les animaux seraient plus motivés à manger, ce qui les pousserait à prendre des repas plus copieux. La gestion de l'alimentation en fonction des différentes approches est donc un élément important à prendre en compte lorsqu'on parle de comportement alimentaire.

La gestion de l'alimentation passe aussi par la fréquence de distribution des rations ou des concentrés. L'augmentation de la fréquence de distribution pourrait par exemple permettre de limiter les problèmes d'acidose en favorisant tout au long de la journée une production d'acides gras volatils stable. Plusieurs études ont rapporté qu'une alimentation plus fréquente entraîne un pH ruminal plus stable, avec moins de fluctuations journalières (par exemple [Soto-Navarro et al., 2000](#)). [Robles et al. \(2007\)](#) ont réalisé une étude qui consistait à augmenter la fréquence de distribution de 1 à 4 fois par jour chez des génisses nourries au concentré avec de la paille disponible *ad libitum*. L'augmentation de la fréquence de distribution n'a pas eu d'effet sur l'ingestion totale d'aliment, la fréquence ou la taille des repas. Toutefois, elle a radicalement modifié les habitudes d'ingestion des aliments. La vitesse d'ingestion et les quantités consommées dans les deux heures suivant la première distribution du matin ont diminué de façon linéaire avec l'augmentation de la fréquence de distribution. Cela pourrait indiquer une baisse de motivation. Dans cette étude, les génisses nourries une seule fois par jour ne présentaient pas d'acidose ruminale. Néanmoins, les auteurs supposent qu'une distribution deux fois par jour pourrait être une bonne pratique pour contrôler la baisse du pH en réduisant la variation de pH sur la journée. En outre, une alimentation plus fréquente pourrait aussi réduire la concurrence sociale pour l'alimentation et l'agressivité après la distribution ([DeVries et al., 2005](#)).

En plus de la fréquence, le moment des distributions peut être important. [King et al. \(2016\)](#) ont étudié l'effet du moment de la distribution sur le comportement alimentaire de vaches en lactation. Deux traitements ont été réalisés : 1) l'aliment était distribué au retour de la traite (à 14h et 7h), 2) l'aliment était distribué entre les heures de traite (à 17h30 et

10h30). Les vaches qui étaient nourries « en retard » ont vu leur ingestion de matière sèche diminuer bien qu'aucune différence de durée d'ingestion n'ait été constatée. Elles ont aussi consommé leur aliment plus lentement lors de repas plus fréquents, plus petits en taille et qui avaient tendance à être plus courts. Les auteurs ont conclu que le fait d'avoir déplacé le moment de distribution des aliments a eu des effets sur le comportement alimentaire des vaches, mais pas sur la production laitière ni les composants du lait.

L'augmentation de la fréquence de distribution et/ou la distribution à des moments plus éloignés des traites pourrait permettre de réduire le risque de troubles ruminiaux mais aussi avoir des effets positifs sur le comportement alimentaire en réduisant la concurrence sociale.

Les facteurs liés au système d'élevage entrent aussi en jeu comme facteurs influençant le comportement alimentaire. Néanmoins, ces facteurs, contrairement à ceux liés aux animaux eux-mêmes, sont « contrôlables » par les éleveurs. En effet, il convient à l'éleveur de gérer la compétition sociale entre les individus en proposant par exemple un espace suffisant à la mangeoire, en établissant ses lots afin que tous les animaux puissent avoir accès à la nourriture et ayant une gestion de l'alimentation optimale permettant à tous les individus d'exprimer leur potentiel de production et de satisfaire leurs besoins nutritionnels.

1.1.3.3. Les facteurs liés à l'aliment lui-même

De nombreuses études dans des systèmes d'élevage en bâtiments ont mis en évidence que la composition de la ration influençait le comportement alimentaire sur de nombreux aspects. Une forte teneur en concentré est par exemple souvent utilisée en production laitière intensive (Yang et Beauchemin, 2007 ; Agle et al., 2010), mais ce type régime modifie le comportement alimentaire des ruminants en diminuant le temps passé à manger et à ruminer (Friggens et al., 1998b ; Abijaoudé et al., 2000b ; Desnoyers et al. 2008 ; DeVries et al., 2009), et en augmentant le nombre de repas (Abijaoudé et al., 2000b). Nielsen et al. (en révision) ont étudié l'effet de la composition de la ration chez des chèvres laitières nourries soit avec une ration comportant beaucoup de fibres (20 % de concentré), soit avec une ration comportant peu de fibres (40 % de concentré). Il a été montré que les chèvres qui

recevaient le régime riche en fibres réduisaient la fréquence des repas et que le premier repas après une distribution était plus long que lors de la période contrôle (avec une ration complète présentant un pourcentage de fibre intermédiaire aux deux régimes). Pour les chèvres recevant le régime faible en fibres, aucun changement de la fréquence ou de la taille des repas n'a été relevé. Le comportement de tri a aussi été impacté avec des refus qui ont augmenté avec le régime à haute teneur en fibres alors qu'ils ont été réduits pour les chèvres ayant le régime à faible teneur en fibres. Cette étude a confirmé que les petits ruminants tels que les chèvres en fin de lactation étaient capables d'adapter leur comportement alimentaire en fonction de la proportion de fibres présentes dans le régime.

Une autre caractéristique de l'aliment pouvant agir sur le comportement alimentaire est la forme physique du fourrage qui va exercer son influence notamment sur la mastication, la fermentation microbienne dans le rumen ou encore la vitesse de passage et de digestion dans le tractus gastro-intestinal (Lu et al., 2005). La méthode de transformation des aliments comme le hachage qui réduit la taille des particules du fourrage influence l'ingestion d'aliments et le tri. Lorsque les aliments sont hachés en morceaux courts, la longueur des fibres longues est réduite et les animaux ont ainsi moins de possibilité pour choisir entre les différentes parties de l'aliment. Une augmentation de l'ingestion et une réduction du temps passé à manger est alors le plus souvent observée. Au contraire, lorsque le fourrage est proposé sous forme longue et non hachée, les animaux ont plus de possibilités pour choisir entre les feuilles et les tiges, ce qui entraîne une augmentation du temps passé à manger (Haselmann et al., 2019).

L'aliment lui-même, avec notamment la composition de la ration et la taille des brins des fourrages proposés, va influencer le comportement alimentaire. La modification du comportement alimentaire pouvant avoir des répercussions sur la santé de l'animal, il est important de comprendre et de prendre en compte comment l'aliment influence le comportement alimentaire dans la gestion de l'élevage.

1.1.3.4. Les facteurs liés à l'environnement

Le stress de chaleur

Les ruminants étant des animaux homéothermes, ils doivent maintenir leur température corporelle dans un intervalle donné quelles que soient leur propre production de chaleur et les conditions thermiques de leur environnement. Le stress de chaleur, causé par une température et une humidité ambiante élevées, est un stress important chez les ruminants car ses effets sur la production, l'ingestion et les performances de reproduction peuvent être importants (West et al., 2003 ; Polsky et von Keyserlingk, 2017). La réduction des performances en cas de stress thermique est généralement attribuée à une moindre disponibilité des nutriments et à une diminution de l'ingestion de matière sèche journalière (West et al., 2003 ; Allen et al., 2015) qui permet de réduire la production de chaleur métabolique et de maintenir une température corporelle constante (O'Brien et al., 2010). La consommation d'eau quant à elle va augmenter lorsque la température ambiante s'élève au-dessus de 25-30°C (Fuquay et al., 2011). En période de fortes chaleurs, les vaches laitières vont modifier la répartition dans le temps des périodes d'ingestion pour manger lorsque la température est la plus basse (Schneider et al., 1988). De plus, les vaches préféreront manger des aliments concentrés plutôt que des fibres (Bernabucci et al., 2009), cette préférence étant due à une production métabolique de chaleur plus faible associée à l'alimentation en concentré par rapport à une alimentation riche en fibres (Lu, 1989). L'augmentation de la fréquence des repas pendant les périodes crépusculaires ainsi que la préférence pour les aliments concentrés, associée à une ingestion réduite de fourrage entraînent un risque accru d'acidose ruminale (Kadzere et al., 2002). La chaleur est donc un facteur important à contrôler pour éviter des troubles du comportement alimentaire et les maladies métaboliques telles que l'acidose.

Liés à la saison et à la photopériode

Au cours de l'année, les animaux vont devoir faire face à une végétation en perpétuelle évolution. Les ruminants vont être capables de se montrer flexibles dans leur comportement alimentaire. Cette variation saisonnière de l'ingestion va s'exprimer par des changements dans la répartition des repas ou encore par l'élargissement de leur spectre

d'alimentation suivant l'abondance d'un fourrage (Nolan et Nastis, 1997).

La photopériode va également entraîner des modifications du comportement alimentaire, mais elles peuvent être différentes en fonction de l'espèce ou de la race étudiée (Iason et al., 2000). Par exemple, chez les bovins, Macmillan et al. (2018) ont soumis des vaches laitières à des photopériodes longues (16 heures par jour de lumière) ou courtes (8 heures par jour). Aucun effet de la durée d'éclairement n'a été observé sur la quantité journalière de matière sèche ingérée, le temps de repos ou le comportement alimentaire en général. Néanmoins, la longue photopériode a eu tendance à augmenter la durée d'ingestion et à réduire le tri des aliments par les animaux.

Liés à l'accès à l'eau

Un apport en eau adéquat est nécessaire pour assurer des fonctions digestives correctes. Il a été montré chez les moutons Awassi déshydratés que l'ingestion d'aliment était diminuée de 60 % (Jaber et al., 2004 ; Hamadeh et al., 2006). Des taux similaires ont été signalés par Maloiy et al. (2008) chez différents ruminants domestiques soumis à une déshydratation, en particulier lorsqu'elle est associée à un stress thermique. La baisse de l'ingestion en cas de déshydratation dépend aussi du type d'aliment offert. Des boucs restreints en eau (40% de la quantité d'eau consommée *ad libitum*) ont ainsi plus réduit leur ingestion lorsqu'ils avaient du foin d'herbe que lorsqu'on leur a offert du foin de légumineuse (Muna et Ammar, 2001). Senn et al. (1996) ont étudié l'effet de 48 heures de privation en eau sur le comportement alimentaire de 12 vaches en lactation nourries à l'herbe et au maïs grain *ad libitum*. La privation d'eau a réduit de manière significative l'ingestion. Cette réduction était entièrement due à une réduction de la taille des repas, la taille du premier repas de la période de privation d'eau ayant déjà été réduite d'environ 30 %. La fréquence d'ingestion d'herbe avait augmenté tandis que la fréquence d'ingestion du maïs grain avait diminué pendant la privation d'eau. Ce lien entre l'ingestion et l'apport en eau peut être attribué au rôle essentiel de l'eau dans le processus de digestion et d'élimination des déchets du métabolisme.

La modification de l'environnement de l'animal, en termes de température, de photopériode ou encore de disponibilité en eau, va avoir des répercussions sur son comportement alimentaire. Afin de maintenir des fonctions digestives et métaboliques satisfaisantes, les animaux vont adapter leur comportement alimentaire pour faire face aux changements environnementaux qu'ils subissent.

En résumé, cette première partie introductive nous permet de rappeler que :

- La phase lactée chez le ruminant est particulière car intermédiaire entre les stades de pré-ruminant et de ruminant, avec une activation fonctionnelle de tous les compartiments de l'estomac.
- Le comportement alimentaire s'exprime lors de plusieurs étapes : la recherche, le choix, l'ingestion des aliments ainsi que la rumination. L'ingestion peut être caractérisée en fonction de différentes échelles comme la bouchée, la tétée, le repas ou encore l'ingestion journalière. Une forte variabilité inter-individuelle du comportement alimentaire est présente aussi bien chez le jeune qu'à l'âge adulte.
- De très nombreux facteurs peuvent influencer le comportement alimentaire. Ils peuvent être liés directement à l'individu mais aussi au système d'élevage dans lequel il se trouve, à l'aliment proposé et à l'environnement de l'individu. Il est important de connaître et prendre en compte ces facteurs car les modifications du comportement alimentaire peuvent avoir des répercussions sur la santé et le bien-être de l'animal.

1.2. Les enjeux d'une meilleure compréhension du comportement alimentaire

Face à des systèmes de production et des marchés très diversifiés, les attentes sociétales et les pressions économiques tendent à ce que les élevages soient constitués d'animaux 1) robustes et adaptables aux changements techniques ou environnementaux du milieu d'élevage, 2) efficaces pour la transformation des ressources alimentaires et générateurs de produits de qualité, et 3) dont le bien-être est respecté. Pour obtenir de tels animaux, il est indispensable de bien connaître leurs comportements et notamment celui lié à l'alimentation.

Le comportement alimentaire est un élément essentiel des modèles qui tentent de prévoir la production et l'utilisation des nutriments, et inversement la quantité ingérée journalière doit pouvoir être prédite afin d'optimiser sa valeur nutritionnelle. Cependant, le rôle du comportement alimentaire est souvent négligé dans les modèles de prédiction, et résumé seulement à la quantité ingérée par jour. Une meilleure connaissance du comportement alimentaire pourrait donc contribuer à l'amélioration de la biologie prédictive.

Le comportement alimentaire peut servir d'outil permettant d'évaluer la façon dont un animal perçoit le régime alimentaire qui lui est proposé, sa motivation à se nourrir, mais peut aussi être utilisé comme un outil pour détecter ou prévenir les problèmes de santé (cf. partie 1.1.3.1 de ce chapitre). Plus précisément, les relations entre les habitudes alimentaires, la fermentation dans le rumen et la santé sont essentielles. Certaines pratiques de gestion de l'alimentation, qui font que les ruminants mangent moins et plus rapidement des repas copieux, sont associées à de grandes baisses post-prandiales du pH du rumen et à une augmentation associée de l'incidence de l'acidose ruminale (Desnoyers et al., 2011). Des problèmes similaires peuvent se produire chez les veaux nourris au lait où l'ingestion de lait peu fréquente mais en gros repas augmente les risques d'ulcération de la caillette (Ahmed, 2002). Une gestion et une conception appropriées de l'alimentation est essentielle pour maximiser la santé et le bien-être des ruminants.

Dans ce cadre, une révolution numérique est en cours avec le développement de l'élevage de précision et des technologies associées. Néanmoins, il est nécessaire de savoir interpréter les données issues de ces technologies. À titre d'exemple, dans la littérature, on retrouve de nombreuses discussions quant à la définition par exemple d'un repas, au vu de la quantité et de la fréquence des données qui peuvent être recueillies grâce à ces technologies (cf. partie 1.2.4 du **chapitre 6** pour plus de détails).

La demande sociétale pour des productions animales plus respectueuses des animaux stimule les industries agricoles pour améliorer le bien-être des animaux dans les systèmes de production. L'amélioration du bien-être a le plus souvent été axée sur la réduction des expériences négatives (par exemple l'absence de douleur) et sur les avantages sanitaires comme la réduction des maladies. Actuellement, les attentes sociétales s'étendent aux possibilités pour les animaux d'avoir des expériences positives et d'exprimer les comportements naturels. Néanmoins, avant de pouvoir modifier les élevages pour que les animaux puissent exprimer plus qu'actuellement leur répertoire comportemental, il est essentiel de décrire les comportements et de les comprendre. Une adaptation des systèmes d'élevage pour favoriser l'expression des comportements naturels pourrait ensuite permettre d'améliorer le bien-être des animaux, sans compromettre l'efficacité de production, mais aussi potentiellement d'améliorer l'acceptation de la société pour les systèmes de production intensifs.

Enfin, le phénotypage du comportement alimentaire pourrait être utile à deux niveaux. Premièrement au niveau individuel en permettant de mieux adapter l'alimentation à l'individu par une gestion ciblée ou en permettant de sélectionner les animaux avec une bonne production et peu sensibles à des conditions d'élevage variées, tout en maintenant leurs aptitudes fonctionnelles (reproduction, santé, comportements, bien-être). Deuxièmement, au niveau du troupeau, il pourrait permettre de gérer la variabilité individuelle afin de garantir la résilience du système d'élevage aux aléas des conditions d'élevage. Une variabilité des capacités d'adaptation des animaux à des perturbations externes comme des perturbations alimentaires permettrait d'élargir la gamme des

perturbations supportées par le troupeau. Faire progresser les connaissances sur la variabilité individuelle est nécessaire afin, par exemple, de pouvoir caractériser les animaux d'un groupe sur leur comportement alimentaire et de les comparer. Les éleveurs pourraient ainsi prioriser l'inspection des animaux présentant des perturbations de l'alimentation au sein d'un groupe.

Ces quelques exemples mettent en lumière la manière dont nous pouvons utiliser le comportement alimentaire. La solution à de nombreux problèmes d'alimentation peut être trouvée dans la compréhension du comportement et des exigences alimentaires spécifiques à chaque espèce.

1.3. Les outils de mesure du comportement alimentaire : de l'observation directe à l'élevage de précision, un développement croissant des méthodes de mesures du comportement alimentaire

Pour enregistrer et décrire les profils alimentaires, pour étudier les facteurs affectant l'ingestion ou pour développer des méthodes de prédiction de l'ingestion, nous avons besoin d'enregistrer et de mesurer le comportement alimentaire dans une variété de situations prenant en compte les objectifs des études, les systèmes étudiés (pâturage, sur parcours, en bâtiments), mais aussi les caractéristiques de chaque espèce. Ainsi, de nombreuses méthodes ont été développées pour permettre la caractérisation du comportement (Altmann, 1974), notamment alimentaire. Un nombre important de variables peuvent être mesurées tels que le temps passé à manger à l'auge ou à brouter, le temps passé à ruminer, les quantités ingérées, les vitesses d'ingestion, le nombre de mouvements de mâchoire ou encore le budget temps global des animaux. Les distances, les localisations et les déplacements au sein d'aires définies peuvent aussi être enregistrés.

Dans cette partie du manuscrit, nous verrons quelques exemples de méthodes et de dispositifs utilisés pour enregistrer le comportement alimentaire des ruminants dans différentes situations.

Les observations directes

Une des premières méthodes utilisées pour étudier le comportement alimentaire était l'observation directe par l'humain. Cette observation directe des comportements s'appuie généralement sur des procédés d'échantillonnage car il est difficile d'enregistrer les activités de tous les individus en continu (Altmann, 1974). Les observations directes de l'animal se traduisent donc par de nombreuses heures d'observation, en notant à intervalles réguliers si l'animal mange, rumine, se tient debout ou couché, marche ou tout autre type de comportement (Altmann, 1974 ; Papachristou et al., 2005 ; El Aich et al., 2007). Les observations peuvent être réalisées aussi bien au pâturage qu'en bâtiments. Cette méthode pour mesurer le comportement alimentaire souffre de deux inconvénients majeurs : elle est très chronophage et ne fournit pas d'information sur les quantités consommées mais seulement sur le moment de l'ingestion. Bien que l'observation directe soit peu coûteuse, un manque de traçabilité des données et des problèmes éventuels de répétabilité entre observateurs entrent en jeu. Les mesures sont également restreintes au jour, et la présence d'un observateur peut modifier le comportement de l'animal (Papachristou et al., 2005 ; El Aich et al., 2007). Bien que les observations directes aient néanmoins l'avantage de ne pas être sensibles aux problèmes techniques tels que des problèmes de stockage des données ou de batterie, d'autres méthodes ont aussi été développées.

Les enregistrements vidéo

Au début de l'utilisation des enregistrements vidéo, les formats des caméras et leur qualité n'étaient pas optimaux. Avec l'avènement de l'informatique, de nouveaux types de caméras ont été développés : plus petites, plus robustes, plus faciles à monter et surtout avec une qualité d'image permettant d'enregistrer des comportements subtils et avec de grandes capacités de stockage. Le stockage permet de pouvoir regarder plusieurs fois la vidéo, ou encore de la regarder à vitesse réduite pour noter les comportements courts et complexes (Martin et Bateson, 1993). Cependant, cette méthode connaît aussi de nombreux désavantages : elle demande d'avoir des appareils de haute qualité afin d'obtenir une bonne qualité d'image, ces appareils sont le plus souvent coûteux, et les caméras ont souvent besoin d'être installées à l'avance, dans le bon angle de vue afin de limiter la perte des

données si l'individu n'est pas visible ou si le comportement est difficile d'accès. Le travail post-enregistrement, c'est-à-dire le codage des vidéos, peut être fastidieux et très chronophage.

Capteurs portés par les animaux (GPS, podomètres, accéléromètres ...)

Le suivi automatique à distance est devenu courant grâce à l'utilisation de capteurs portés par les animaux. Ils permettent de réduire des processus visuels et manuels fastidieux, ainsi que d'enregistrer le comportement en continu, sur des périodes plus ou moins longues, avec des données fréquentes (Abijaoudé et al., 1999). De nombreux capteurs ont ainsi été développés tels que : des accéléromètres fournissant la position et les mouvements de la partie du corps sur laquelle ils sont portés (Greenwood et al., 2014 ; Shepley et al., 2017), des dispositifs de positionnement satellitaire (GPS) permettant la géolocalisation dans l'enclos ou au pâturage (González et al., 2015), l'enregistrement acoustique ou des capteurs placés sur des licols pour mesurer l'activité des mâchoires (Galli et al., 2011 ; Zehner et al., 2017) ou encore des puces RFID (identification par radiofréquence) activées par une antenne au niveau de la mangeoire (Schwartzkopf-Genswein et al., 1999). Ces différentes technologies vont être plus ou moins pratiques et facilement utilisables d'une situation à une autre. Leur utilisation dépendra alors de l'objectif de l'étude, des variables à étudier mais aussi de la taille de l'animal qui va être équipé.

À titre d'exemple, l'utilisation des accéléromètres peut être très complète. En effet, ils vont enregistrer tout changement de vitesse se produisant dans les trois dimensions (d'avant en arrière : axe-x ; de gauche à droite : axe-y et de haut en bas : axe-z). Il en résulte alors des profils de données pouvant être utilisés pour décoder des comportements tels que la marche, le repos ou l'alimentation (Graf et al., 2015 ; Zobel et al., 2015). L'utilisation des accéléromètres pour l'étude du comportement alimentaire et notamment de la rumination est abordée plus en détail dans la deuxième partie du **chapitre 6**.

Cases alimentaires/métaboliques individuelles

Toutes les méthodes décrites auparavant permettent d'avoir des informations importantes pour caractériser le comportement alimentaire, mais elles ne permettent pas d'avoir d'informations sur les quantités ingérées. Des données complètes sur le comportement alimentaire peuvent être collectées grâce à l'enregistrement automatique en continu du poids de la mangeoire. Pour cela, un individu doit souvent être hébergé seul. Lorsque l'animal va manger, de fréquentes oscillation du poids de la mangeoire vont apparaitre, tandis que lorsque l'animal ne touche pas à la mangeoire, le poids reste stable, ce qui permet de déterminer un début et une fin de visite à la mangeoire. La quantité consommée pendant la visite correspond à la différence de poids enregistré entre deux phases de stabilité du poids de la mangeoire. Chaque enclos ou case peut ainsi être équipé d'une ou plusieurs balances de sorte que l'ingestion d'un ou plusieurs aliments différents et d'eau puisse être enregistrée. Une quantité importante de données peut ainsi être récoltée. Une des limitations de ce dispositif est que seul un individu à la fois dans le même enclos peut être enregistré, alors que bien souvent les animaux d'élevage sont hébergés en groupe. Il est d'ailleurs connu que les animaux vont avoir des comportements différents lorsqu'ils sont en groupe ou hébergés individuellement, à cause des comportements sociaux influençant l'ingestion notamment (Grant et Albright, 2001). Se pose alors le problème de l'identification des individus lorsqu'ils sont en groupe.

La révolution de l'identification par radiofréquence (RFID)

Les premiers systèmes électroniques commercialisés pour identifier les animaux se présentaient sous la forme de colliers très encombrants et relativement chers, ce qui empêchait leur utilisation sur des petites espèces et pour des troupeaux de grande taille. Le développement de la RFID et sa miniaturisation a révolutionné les dispositifs d'enregistrement du comportement alimentaire en permettant l'identification de l'individu. Ainsi, le comportement alimentaire individuel des animaux maintenus en groupe peut être enregistré. Ces nouveaux systèmes incluent, en plus de la balance sous la mangeoire, une boucle dite passive, c'est-à-dire sans source propre d'alimentation électrique, contenant une puce d'identification électronique portée par les animaux ainsi qu'une antenne de lecture du

signal. L'antenne de lecture transforme le champ magnétique émis par la boucle en courant électrique et alimente la boucle qui en retour transmet son contenu, soit l'identifiant de l'animal (Ricard et al., 2018). Les boucles peuvent avoir des tailles, des formes et des poids variés (Figure 5).



Figure 5. Photographies représentant des exemples de boucles avec système RFID pour l'identification des individus. Crédits photo : Alicia Nijdam sur Flickr et Marjorie Cellier (photos personnelles)

Plusieurs systèmes de mesure existent : par exemple une semi-contention de type couloir associée à une porte pour isoler l'individu pendant l'alimentation, une mangeoire dont l'accès est bloqué par un cornadis ou une trappe pouvant être débloqué par un seul ou par plusieurs individus (Weisbecker et al., 2018). Quand l'animal passe au niveau de l'antenne de lecture, disposée à l'entrée soit du couloir soit de la mangeoire, l'animal est identifié. Selon les systèmes, il peut être identifié uniquement à l'entrée ou à l'entrée et à la sortie. Ainsi, le nombre et la fréquence des visites, l'occupation de la mangeoire, le temps passé à manger par visite et par jour, et la quantité consommée par visite et par jour peuvent être mesurés. Le même système existe pour étudier le comportement d'ingestion d'eau (Weisbecker et al., 2018). Une des limitations de ce système provient des dispositifs commerciaux qui ne permettent pas toujours l'accès aux données brutes, type de données important pour les chercheurs.

L'élevage de précision

L'élevage de précision (precision livestock farming : PLF) fait l'objet de différentes définitions dans la littérature (Berckmans, 2014 ; Borchers et Bewley, 2015). Il peut se définir

par l'utilisation coordonnée de capteurs pour mesurer des paramètres comportementaux, physiologiques, de production des animaux et les caractéristiques de l'environnement dans le but d'échanger, stocker, transformer et restituer les informations aux agriculteurs dans un but d'aide à la prise de décision pour le pilotage de leur élevage (Figure 6). Les chercheurs utilisent cet essor de technologies afin de récolter des données pour avoir des informations importantes afin de mieux comprendre, connaître et suivre les animaux, et in fine améliorer les systèmes de production (Benjamin et Yin, 2019).

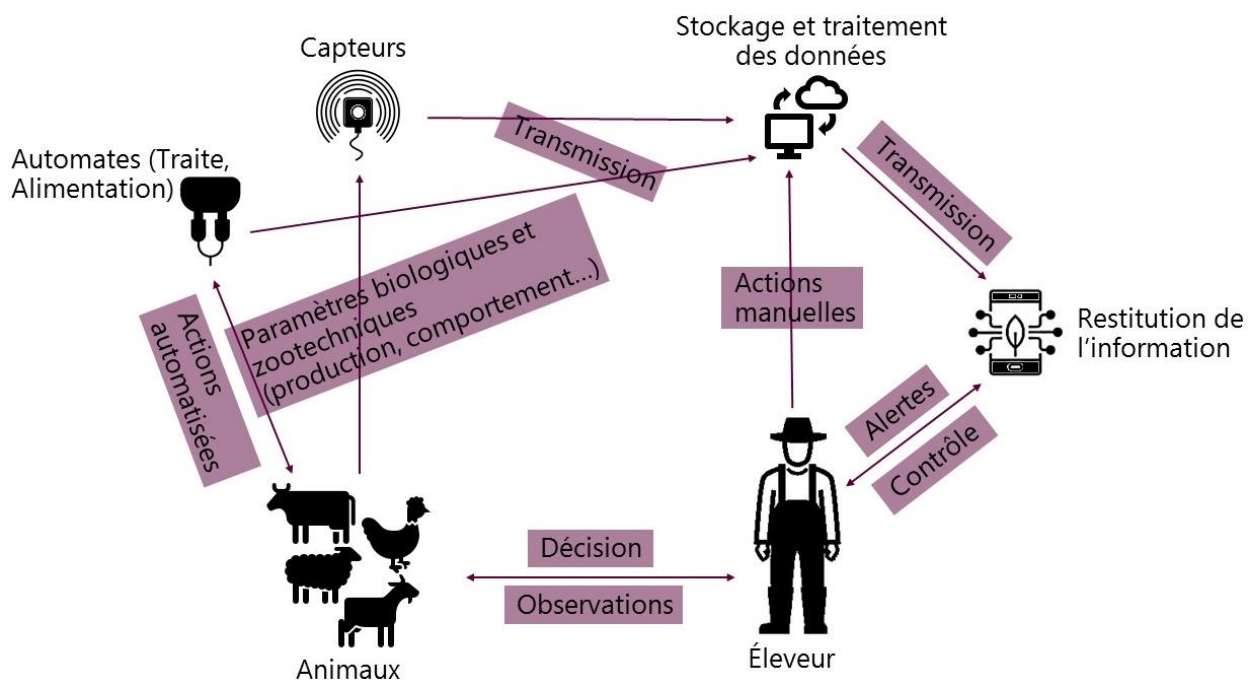


Figure 6. Schéma représentatif de l'utilisation d'automates et de capteurs par l'éleveur dans le cadre de l'élevage de précision.

Le cas du jeune ruminant allaité artificiellement : les distributeurs automatiques de lait

Les distributeurs automatiques de lait (DAL), aussi nommés louves, sont des outils permettant d'enregistrer les ingestions individuelles et le comportement alimentaire des jeunes ruminants à l'allaitement artificiel. Ils sont généralement composés d'une unité autonome qui chauffe de l'eau, distribue une quantité de lait en poudre prédéfinie, la mélange, puis transfère le mélange dans un récipient de stockage relié aux stations d'alimentation comprenant des systèmes d'identification RFID et des tétines (Figure 7 ; Hnatiuc et Caracostea, 2017).

Les individus peuvent ainsi boire quand ils le souhaitent et/ou de manière contrôlée. Certains

systèmes laissent l'accès à l'aliment d'allaitement *ad libitum* tandis que d'autres définissent des portions d'aliment et des intervalles minimum entre chaque accès (Jensen, 2009). Des systèmes très performants permettent, grâce à l'identification RFID, de fournir aux jeunes une quantité de lait adaptée à l'âge de l'individu identifié ainsi que d'ajouter des vitamines ou des antibiotiques selon son état de santé (Hnatiuc et Caracostea, 2017).



Figure 7. Photographies représentant des parties du distributeur automatique de lait A) l'unité de chauffe et de mélange de l'aliment d'allaitement, B) la tétine et le passe tête comprenant l'antenne réceptrice pour la RFID (Crédit photo : Marjorie Cellier, photos personnelles)

Tous ces paramètres sont gérés à partir de logiciels spécifiques. Bien que l'identification par RFID permette de savoir quel individu est en train de boire, un passage à tête est souvent installé à hauteur des tétines afin d'autoriser uniquement un individu à la fois (Weisbecker et al., 2018). L'identification seule ne permet néanmoins pas au lait d'arriver dans les tétines. Pour cela il faut que le jeune tète suffisamment fort pour activer un senseur qui déclenche alors la mise en route de pompes permettant au lait de passer du récipient de stockage à la tétine. Un apprentissage à cette succion est nécessaire pour le jeune ruminant (Weisbecker et al., 2018).

Les DAL ont de nombreux avantages tels qu'un meilleur développement du rumen, une gestion individuelle des animaux, un lait maintenu à température constante, ou encore une alimentation à horaires flexibles (Hnatiuc et Caracostea, 2017).

En résumé, ces deux parties sur les enjeux et les outils de mesure du comportement alimentaire mettent en évidence que :

- Les enjeux d'une meilleure compréhension du comportement alimentaire sont multiples, notamment d'un point de vue de l'acceptation sociétale des élevages et d'une meilleure prise en compte du bien-être, tout en maintenant une efficacité de production.
- Pour enregistrer et caractériser le comportement alimentaire, de très nombreux outils sont disponibles, aussi bien dans le jeune âge qu'à l'âge adulte. Ils peuvent aller de l'observation en direct jusqu'à l'utilisation des technologies associées à l'élevage de précision. L'avènement de l'informatique et le développement des technologies, plus particulièrement celles associées à l'élevage de précision, font que le comportement alimentaire peut être mesuré plus facilement et de façon individuelle.

2. Généralités sur le modèle caprin

Le modèle d'étude choisi pour ma thèse est le modèle caprin. En effet, la chèvre est une espèce importante du paysage agricole et son comportement alimentaire spécifique en fait un modèle de choix pour étudier le comportement alimentaire. De plus, les études sur le comportement alimentaire des caprins sont peu nombreuses par rapport aux nombreuses études réalisées sur les autres ruminants, notamment les bovins. Dans cette deuxième partie introductive, nous allons aborder les généralités du modèle caprin, avec tout d'abord quelques chiffres de la filière caprine dans le monde puis en précisant pour la France et la Nouvelle-Zélande, les deux pays où les études présentées dans les **chapitres 3, 4 et 5** ont été réalisées, avant de nous intéresser aux caractéristiques des principales races d'élevage, l'alpine et la Saanen. Enfin, nous aborderons la chèvre comme un ruminant au comportement alimentaire particulier en traitant de ses spécificités.

2.1. L'élevage caprin

L'un des premiers animaux domestiqués en tant qu'animal d'élevage était la chèvre, il y a environ dix mille ans (Colli et al., 2015). Néanmoins elle a été pendant très longtemps considérée comme étant la « vache du pauvre », réputée comme un animal qu'on élève quand on ne peut rien élever d'autre étant donné l'investissement en capital et les coûts de production nécessaires plus faibles que pour les bovins. Un renouvellement générationnel rapide des animaux permet aussi une production de lait plus précoce par rapport à d'autres espèces laitières. La chèvre a connu un regain d'intérêt en France après mai 1968. Les consommateurs s'intéressent alors de plus en plus aux produits caprins et l'élevage de chèvres devient une activité à part entière.

2.1.1. La filière caprine

2.1.1.1. Dans le monde

Depuis les années 1960, le nombre de caprins présents dans le monde a triplé : il est passé de 350 millions de têtes à plus d'un milliard en 2017 (Figure 8 ; FAO, 2017). Le cheptel caprin se retrouvait alors majoritairement en Asie et en Afrique, suivies des Amériques et dans une moindre mesure en Europe et en Océanie (Figure 9 ; FAO, 2017).

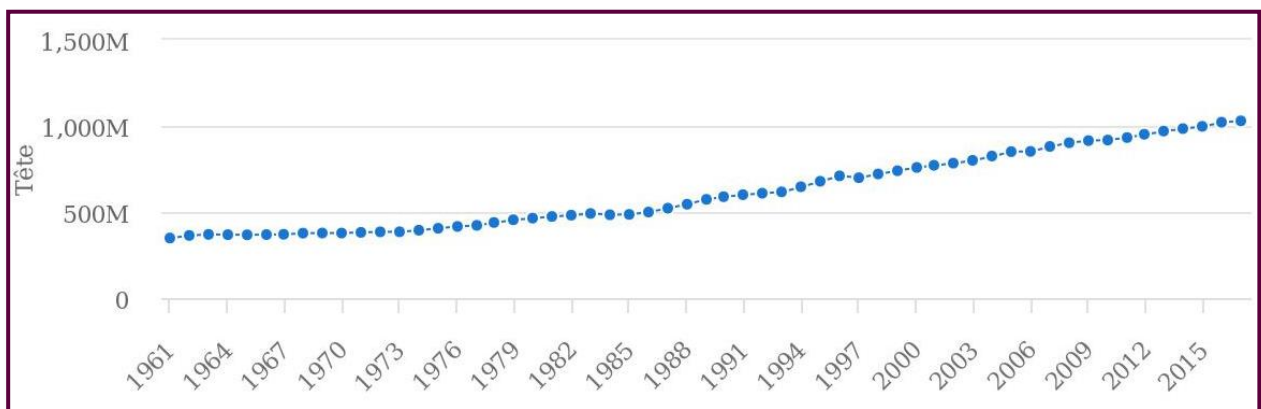


Figure 8. Évolution du nombre de têtes de caprins dans le monde entre 1961 et 2017. Source FAOSTAT consultée le 18/08/2020.

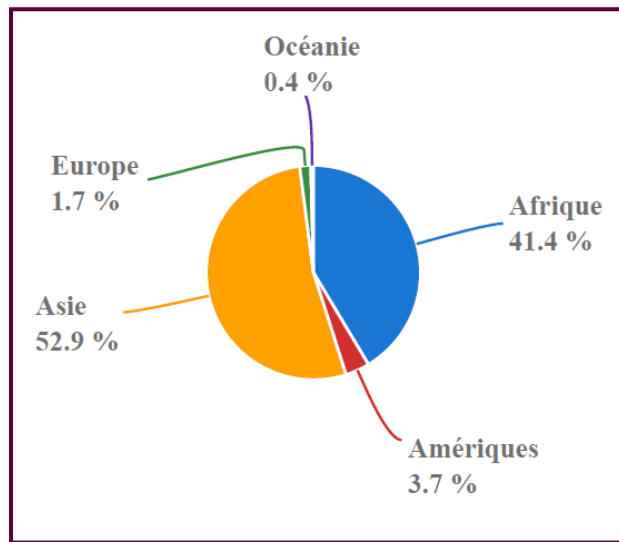


Figure 9. Répartition mondiale du cheptel caprin en 2017. Source FAOSTAT consultée le 18/08/2020.

En Asie et en Afrique les chèvres sont principalement élevées dans des systèmes extensifs (Escareño et al., 2012). Ainsi, la majorité des chèvres dans le monde passe leur vie en plein air. En Europe et en Amérique du Nord, les chèvres laitières sont principalement élevées dans des systèmes intensifs (Solaiman, 2010) se caractérisant par une productivité élevée, des apports en ressources importants et des chèvres hébergées en bâtiments avec un accès limité voir pas d'accès à l'extérieur.

La production mondiale de lait s'élevait en 2017 à 18,7 millions de tonnes avec plus de 10 millions de tonnes en Asie, plus de 4 millions de tonnes produites en Afrique, presque 3 millions de tonnes en Europe et seulement 0,75 millions de tonnes en Amérique (FAO, 2017). L'Asie et l'Afrique sont les producteurs les plus importants en raison de leur forte population caprine. Cependant, en termes de production par animal, l'Europe dépasse les autres régions avec un rendement moyen presque cinq fois supérieur à la moyenne du reste du monde (FAO, 2017). La production de viande caprine quant à elle a beaucoup augmenté durant la période 2000-2012, avec 41,66 % d'augmentation (Skapetas et Bampidis, 2016). Elle reste néanmoins faible avec moins de 6 millions de tonnes dans le monde en 2017.

2.1.1.2. En France

Avec ses 1,3 millions de têtes qui représentent presque 10 % du cheptel européen, la France se place 4^{ème} après la Grèce, l'Espagne et la Roumanie au classement des pays européens producteurs caprins en 2017 (FAO, 2017). Toutes les régions de France sont concernées par l'élevage caprin, avec un nombre élevé de têtes, notamment dans le sud-ouest. Il est essentiellement à vocation laitière. La France est d'ailleurs le leader européen en termes de production de lait, devant l'Espagne, la Grèce et la Roumanie, avec plus de 610 millions de litres de lait de chèvre produits en 2017 (FAO, 2017) et également le premier fabricant de fromages de chèvre au monde (ANICAP, 2017). C'est aussi un pays très consommateur de fromages de chèvre : plus de 58 % de la production de fromages est achetée par les ménages (FAO, 2017). La viande caprine, quant à elle, est peu consommée en France. Une filière laine avec de la laine de mohair est également présente sur le territoire dans une moindre mesure.

Les systèmes d'alimentation caprins sont très diversifiés allant de systèmes pastoraux à des conduites hors-sol utilisant fortement le concentré. Caillat et al. (2016) ont rapporté que 57 % des élevages caprins laitiers ont un système alimentaire reposant sur l'utilisation de fourrages conservés (secs ou humides) contre 43 % utilisant des fourrages verts (affouragement, pâturage). Les chèvres sont donc le plus souvent élevées toute l'année en bâtiments et le fourrage distribué est majoritairement du fourrage conservé. Plusieurs types de rations fourragères sont possibles : les rations à dominante foin, les rations à base de foin de légumineuses (par exemple la luzerne), l'ensilage de maïs, les foin secs, et les foin humides ou enrubannages (Caillat et al., 2016). Des pulpes ou des fourrages déshydratés présentés sous forme de granulés sont également souvent utilisés pour limiter les refus.

Bien que des races traditionnelles existent, les races laitières constituant l'essentiel du cheptel français sont l'alpine, et la Saanen, qui représentent 55 % et 42 % du cheptel français, respectivement (France Génétique Elevage, 2014). Leurs caractéristiques respectives sont développées dans la partie 2.1.2 de ce chapitre.

2.1.1.3. En Nouvelle-Zélande

L'industrie laitière caprine en Nouvelle-Zélande est relativement nouvelle et a connu une expansion rapide au cours des dernières décennies notamment avec une réorientation vers la production de lait en poudre. Le cheptel caprin s'élevait en 2017 à presque 99 000 têtes (FAO, 2017). 80 % des élevages de chèvres laitières néo-zélandaises appartiennent à la Dairy Goat Co-operative, basée à Hamilton, la principale région laitière du pays étant Waikato (Figure 10 ; Scholtens et al., 2017). En 2020, la Dairy Goat Co-operative comptait 72 fournisseurs produisant plus de 38 millions de litres de lait (Dairy Goat Co-operative) qui est transformé en lait en poudre et est exporté vers plus de 30 pays. Le reste des élevages de chèvres laitières en Nouvelle-Zélande appartient à des coopératives plus petites, également spécialisées dans la production de lait en poudre (Scholtens et al., 2017).

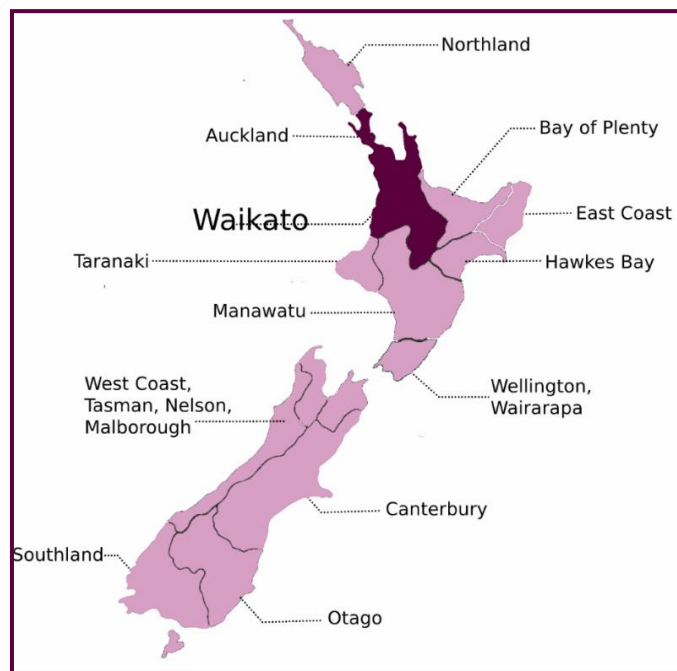


Figure 10. Carte de Nouvelle-Zélande mettant en évidence la région Waikato qui est la principale région laitière du pays.

La race laitière la plus couramment utilisée en Nouvelle-Zélande est la Saanen (85 %), le reste des chèvres étant issues de croisements avec la British Alpine, la Toggenburg et la Nubian (Scholtens et al., 2017). Pour la filière laine, les chèvres Angora sont élevées pour leur laine Mohair partout dans le pays, mais cette industrie reste relativement petite. Aux alentours des années 1990, les chèvres Boer ont été introduites en Nouvelle-Zélande pour

la production de viande. Les néo-zélandais n'en consomment presque pas et la petite quantité produite est exportée.

Les éleveurs néo-zélandais hébergent majoritairement les chèvres en bâtiments, même s'il existe quelques fermes qui sont basées sur un système de pâturage. Une différence importante avec les autres pays concerne l'alimentation : en Nouvelle-Zélande les chèvres sont nourries avec du fourrage dans un système de « coupe et transport », alors que dans les autres pays les aliments conservés et les rations complètes dominent (Rapetti et Bava, 2007 ; Rubino et al., 2011).

2.1.2. Les principales races d'élevage

L'évolution de la production caprine vers une intensification de l'élevage et vers une augmentation de la production laitière a entraîné la sélection des animaux selon leurs aptitudes laitières. La sélection génétique a ainsi conduit à une augmentation considérable des rendements laitiers et de la durée de lactation. Les races de chèvres laitières les plus répandues dans le monde sont la Saanen, l'Anglo-nubienne, la Toggenburg, l'alpine et la naine d'Afrique occidentale (FAO 2017). L'alpine et la Saanen faisant partie des chèvres les plus utilisées en France et aussi en Nouvelle-Zélande pour la Saanen, un focus sur ces deux races est présenté dans les paragraphes suivants.

2.1.2.1. L'alpine

La race alpine est originaire du massif alpin. Elle est élevée dans toutes les zones caprines en France. Avec plus de 1 150 troupeaux sur le territoire, elle représente la race la plus répandue en France (contrôle laitier de 2019). La chèvre alpine est une chèvre rustique, forte laitière, de format moyen qui s'adapte très bien à la stabulation, au pâturage ainsi qu'à la vie en montagne. Le type chamoisé est le plus répandu (**Figure 11A**). Les boucs ont un poids moyen allant de 80 à 100 kg tandis que les femelles pèsent de 50 à 70 kg (Capgènes, 2013a). Cette bonne laitière produit en moyenne 949 kg de lait pour une lactation durant 315 jours. La composition du lait est en moyenne de 33,6 g/kg de taux protéique et de 38,1 g/kg de taux butyreux, toutes lactations confondues (Institut de l'élevage et FCL, 2019).

2.1.2.2. La Saanen

La Saanen quant à elle est originaire, comme son nom l'indique, de la vallée de la Saane, en Suisse. Étant la race caprine laitière la plus répandue dans le monde, elle est implantée dans de nombreux pays, dont la Nouvelle-Zélande, et la France possède plus 780 troupeaux comprenant des Saanen (contrôle laitier de 2019). Elle montre une excellente adaptation à différents régimes alimentaires, en montagne ou en plaine. C'est un animal trapu et solide au tempérament calme et qui présente des qualités très laitières. Elle s'adapte donc également très bien aux différents modes d'élevage notamment aux systèmes intensifs. Sa robe est uniformément blanche (**Figure 11B**). Plus lourde que la race alpine, les boucs Saanen ont un poids moyen allant de 80 à 120 kg tandis que les femelles pèsent de 50 à 90 kg (Capgènes, 2013b). Cette forte laitière produit en moyenne 999 kg de lait pour une lactation durant 326 jours. La composition du lait est en moyenne de 32,6 g/kg de taux protéique et de 36,5 g/kg de taux butyreux, toutes lactations confondues (Institut de l'élevage et FCL, 2019).



A)



B)

Figure 11. A) Photographie d'une chèvre de race alpine (Crédit photo : Getty Images-iStockphoto) B) Photographie d'une chèvre de race Saanen (Crédit photo : Marjorie Cellier, photo personnelle)

Après avoir été considérée comme la « vache du pauvre », l'élevage de chèvres a connu un regain d'intérêt. Le nombre de caprins présents dans le monde ne cesse d'augmenter. L'Asie et l'Afrique sont les principaux continents où les élevages de caprins sont majoritairement présents. Avec plus d'un million de têtes, la France se place 4^{ème} des pays européens producteurs caprins. L'industrie laitière caprine néo-zélandaise quant à elle est relativement nouvelle et le cheptel s'élève à plus de 90 000 têtes. Les principales races retrouvées dans les élevages laitiers sont l'alpine et la Saanen.

2.2. Spécificités du comportement alimentaire de la chèvre

Selon Hofmann (1989), les ruminants peuvent être classés en trois catégories par rapport à ce qu'ils mangent. La première catégorie, les « mangeurs d'herbe et de fourrages grossiers » (grass and roughage eaters » en anglais), se caractérise par des adaptations permettant de manger des fourrages riches en parois cellulaires végétales, c'est-à-dire des aliments fibreux. On y retrouve les bovins, les buffles domestiques ou encore les ovins. Cependant, plus de 40 % des espèces de ruminants sont dotées d'un appareil digestif moins adapté à la digestion des fibres végétales. Elles sont plutôt adaptées à des fourrages facilement digestibles et riches en particules solubles des cellules végétales. On retrouve ces espèces dans la catégorie des « sélectionneurs de concentré » (« concentrate selector » en anglais). On ne retrouve pas d'espèce domestique dans ce groupe mais plutôt les élans et les cerfs. Enfin, environ 35 % des ruminants sont caractérisés comme étant « morpho-physiologiquement intermédiaires » aux deux types précédemment cités. Ces animaux, hautement sélectifs, choisissent un régime mixte et sont efficaces pour digérer les fibres (Silanikove, 1997). Ils sont aussi nommés « mangeurs mixtes opportunistes » (« mixed-feeding opportunists » en anglais) (Lu, 1988). Les chèvres appartiennent à ce groupe de « mangeurs intermédiaires ».

En effet, les chèvres sont connues pour adapter leurs choix alimentaires en fonction de la disponibilité de l'aliment et des conditions environnementales. Egea et al. (2014) ont montré qu'en été le fourrage constituait jusqu'à 30 % du régime alimentaire de chèvres

domestiques, tandis que pendant l'hiver, quand le fourrage est moins disponible, leur régime alimentaire était composé à 98 % de feuillus. Les préférences alimentaires des chèvres domestiques (Dziba et al., 2003) mais aussi des chèvres férales (c'est-à-dire retournées à la vie sauvage) (Aldezabal et Garin, 2000) sont donc flexibles en fonction des saisons. Shi et al. (2003) ont quant à eux montré que la durée d'ingestion des chèvres férales était influencée à la fois par le moment de l'année, avec des durées d'ingestion plus courtes en août/septembre, et par le moment dans la journée, avec un pic d'alimentation le matin et un autre le soir, ainsi que quelques pics additionnels de moindre amplitude tout au long de la journée. La température (Aublet et al., 2009) ou encore les aspects sociaux comme la compétition et la facilitation sociale (Zobel et al., 2019) sont aussi des facteurs montrant la flexibilité des chèvres dans leur budget temps et notamment pour le temps d'ingestion journalier.

Grâce à leurs caractéristiques morphologiques, les chèvres sont capables d'exploiter les ressources les moins accessibles. En effet, il n'est pas rare de voir un animal dressé sur ces deux pattes arrière ou sautant pour attraper les feuilles des arbres, pénétrant un enchevêtrement de végétation pour aller grignoter des touffes d'herbe, ou encore escaladant les arbres pour attraper les feuilles les plus hautes (**Figure 12**).



Figure 12. Photographie représentant des chèvres perchées dans un arbre (Crédit photo : Steven Feldman sur Unsplash)

Ces positions d'alimentation atypiques leur permettent de s'alimenter à une hauteur pouvant atteindre près de 2,10 m, contre 1,90 m pour les bovins et 1,17 m pour les moutons

(Sanon et al., 2007). Les chèvres sont donc capables de manger aussi bien au sol, qu'au niveau des yeux, ou en hauteur, ce qui permettrait de réduire le risque de prédation et l'exposition aux parasites (Lu, 1988 ; Beauchamp, 2015). En élevage, Aschwanden et al. (2009) ont d'ailleurs montré que lorsqu'on permettait à des chèvres de manger en hauteur grâce à une plateforme, le temps passé à manger augmentait par rapport à lorsque la nourriture était au niveau du sol. De même, Neave et al. (2018b) ont montré que de jeunes chèvres Saanen consommaient plus d'aliment dans une mangeoire surélevée, avec le museau orienté vers le haut, comparée à une mangeoire au sol qui mimait une position de pâturage. Les chèvres présentaient plus de comportements de déplacement des congénères au niveau de la mangeoire surélevée, ce qui indique qu'elles étaient plus compétitives pour accéder à ces mangeoires.

Leurs lèvres flexibles et leur langue préhensile permettent également aux chèvres d'être sélectives pour les bourgeons, les feuilles, les fruits et les fleurs qui sont plus riches en protéines et plus digestibles que les tiges (Ngwa et al 2000 ; Ouédraogo-Koné et al 2006). À l'auge aussi les chèvres sélectionnent leurs aliments préférés parmi ceux présents dans les rations complètes (TMR) et trient plus finement que les autres ruminants (Morand-Fehr et Sauvant, 1991). En présence d'aliments connus, les chèvres peuvent sélectionner leurs aliments afin de diversifier au maximum leur régime, dans la mesure où ces aliments ne créent pas de perturbation digestive ou métabolique. Une des conséquences de cette sélection peut s'observer quand les chèvres trient leur ration afin de prévenir une acidose. Elles modifient ainsi la composition de l'ingéré en recherchant plus de fibres (Giger-Reverdin, 2018). Cette capacité de tri peut par conséquent entraîner des refus importants, et ce même lorsque les quantités de fourrages offertes sont limitées (Morand-Fehr et Sauvant, 1991 ; Morand-Fehr, 2003). La vitesse d'ingestion va aussi être ralentie à cause du tri de la ration (Focant, 1984 ; Dulphy et al., 1990).

Du fait de toutes ces caractéristiques, les chèvres sont considérées comme des ruminants avec un comportement alimentaire spécifique. Il est aussi à noter que des différences entre les individus se retrouvent au sein même de l'espèce. Giger-Reverdin et al. (2012) ont montré que le profil alimentaire des chèvres suivait un continuum allant

d'individus caractérisés comme des « voraces », c'est-à-dire des chèvres qui mangent peu de fois par jour mais en grosse quantité à chaque repas, à des individus caractérisés de « grignoteurs », c'est-à-dire qui mangent souvent mais en petite quantité. Ces profils de comportement alimentaire sont d'ailleurs conservés chez les mêmes individus à des stades physiologiques différents (entre la fin de la première gestation et le milieu de la deuxième, Giger-Reverdin et al., 2020).

Les ruminants peuvent être classés en trois catégories. Les chèvres correspondent au groupe de « mangeurs intermédiaires », c'est-à-dire qui ont un régime alimentaire mixte et efficace pour digérer les fibres. Grâce à leurs caractéristiques anatomiques et morphologiques, elles vont avoir un comportement alimentaire très flexible, être selectives et être capables d'exploiter les ressources les moins accessibles. Le comportement alimentaire naturel des chèvres est cependant bien différent de celui qui leur est permis par les systèmes d'élevage, notamment en termes de complexité, et de position d'alimentation.

En résumé, cette partie sur les généralités concernant notre modèle d'étude : les chèvres, montre que :

- L'élevage caprin connaît un regain d'intérêt. En effet, le nombre de caprins présents dans le monde ne cesse d'augmenter. La France se place 4^{ème} au classement des pays européens producteurs caprins. La Nouvelle-Zélande possède un plus petit cheptel caprin, mais son industrie laitière est relativement nouvelle.
- Les principales races d'élevage en France et en Nouvelle-Zélande sont la race alpine et la race Saanen. Ces deux races sont de bonnes laitières.
- Le comportement alimentaire des chèvres comporte quelques spécificités. En effet, les adaptations morphologiques des chèvres vont leur permettre d'exploiter les ressources les moins accessibles comme celles se situant en hauteur, mais aussi d'avoir une capacité sélective importante.

3. Questions et stratégies de recherche

Ces dernières années, la demande sociétale a évolué vers des systèmes d'élevage qui promeuvent une bonne production mais aussi qui prennent en compte la santé et le bien-être des animaux. Dans ce contexte, l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments, de l'environnement et du travail (ANSES) a donné en 2018 une nouvelle définition du bien-être : « Le bien-être d'un animal est l'état mental et physique positif lié à la satisfaction de ses besoins physiologiques et comportementaux, ainsi que de ses attentes. Cet état varie en fonction de la perception de la situation par l'animal » (ANSES, 2018). L'un des moyens de satisfaire les besoins comportementaux des animaux est de tenir compte de leur comportement naturel, c'est-à-dire du comportement que les animaux adoptent lorsqu'on leur en donne la possibilité dans des conditions naturelles (Bracke et Hopster, 2006). Permettre aux animaux de se comporter aussi librement que possible dans un environnement présentant des caractéristiques naturelles pourrait être un moyen efficace d'atteindre les objectifs de production animale, mais aussi présenter des avantages à long terme. Les comportements naturels des chèvres s'avèrent être très différents de ceux permis aux chèvres maintenues dans des systèmes d'élevage, notamment en termes de complexité, de temps d'ingestion, de types d'aliments proposés et de types de positions d'alimentation permis. Ainsi, l'objectif du **chapitre 3** de ce manuscrit est, par l'étude du comportement alimentaire, de déterminer les préférences des chèvres concernant leur posture d'alimentation et le type d'aliment. Nous avons émis l'hypothèse que les chèvres présenteraient une préférence pour s'alimenter en hauteur, quel que soit l'aliment proposé. Comprendre quels aspects de l'environnement alimentaire des chèvres sont préférés permettrait de pouvoir répondre à leurs besoins comportementaux et à leurs attentes, ce qui contribuerait à améliorer leur bien-être en incluant dans les systèmes d'élevage des stratégies alimentaires plus adaptées à leur comportement naturel.

Même si peu d'études sont réalisées sur les caprins comparés aux bovins, il est admis qu'il existe une variabilité individuelle importante dans l'expression de certains comportements. C'est le cas du comportement alimentaire au sein d'un troupeau avec des individus qui montrent une grande variabilité notamment dans la sélection des aliments et dans les profils alimentaires. L'avancée des technologies et notamment l'essor de l'élevage

de précision permet d'obtenir de façon automatisée des données sur les comportements. Cela pourrait permettre de phénotyper les individus sur leur comportement alimentaire pour une gestion individuelle des membres du troupeau ou pour prévenir des maladies. Bien qu'il soit connu que le comportement alimentaire puisse être influencé par de nombreux facteurs, il n'est à l'heure actuelle pas bien compris pourquoi un individu dans un troupeau donné va différer des autres, pourquoi le comportement de ces individus semble être relativement stables au cours du temps, et comment le comportement peut varier en raison de changements dans l'environnement de l'animal. Le **chapitre 4** a donc pour objectif de caractériser le comportement alimentaire des chèvres en étudiant les variabilités inter- et intra-individuelles, en s'intéressant aux repas eux-mêmes. Une question sous-jacente de cette variabilité est de savoir si les différents profils alimentaires observés sont stables au cours de l'évolution des stades physiologiques des animaux et s'ils peuvent dépendre d'un facteur tel que le stade de lactation. Nous supposons donc que pour des individus hébergés en groupe il existerait bel et bien une variabilité individuelle du comportement alimentaire, avec le stade de lactation comme facteur influençant ce comportement, mais qu'il resterait stable pour un individu donné au cours du temps. Enfin, les systèmes d'élevage sont soumis à des conditions climatiques et économiques importantes et variables. On peut donc se questionner sur la flexibilité du comportement alimentaire d'un point de vue individuel mais surtout sur les capacités d'adaptation des animaux à ces environnements fluctuants. Le **chapitre 5** a pour objectif de s'interroger sur les effets d'une modification de la fréquence de distribution de la ration sur le comportement alimentaire, perturbation qui peut se produire en élevage. Ainsi, nous avons émis l'hypothèse que le comportement alimentaire serait influencé par la fréquence de distribution de la ration, bien que la quantité journalière ingérée ne le soit pas, et que les individus s'adaptent différemment à un tel challenge. Connaître les capacités d'adaptation des individus pourrait permettre de sélectionner les individus les plus adaptables mais aussi d'augmenter la gamme de perturbations supportées par le troupeau, i.e. sa résilience.

Les objectifs de recherche de cette thèse peuvent se résumer ainsi :

- Évaluer les préférences des chèvres pour le type d'aliment et la posture d'alimentation en lien avec leur comportement alimentaire naturel dans le but d'améliorer la gestion des élevages en prenant mieux en compte les besoins physiologiques, comportementaux et les attentes des animaux
- Étudier la variabilité inter- et intra-individuelle du comportement alimentaire, sa stabilité entre différents stades physiologiques et les lactations successives dans un but d'une meilleure prise en compte de l'individu en tant que tel dans la gestion du troupeau
- Étudier les capacités d'adaptation des individus et la flexibilité du comportement alimentaire face à un changement de fréquence de distribution de la ration afin d'obtenir un troupeau résilient dans un environnement fluctuant tel que l'élevage.

AVANT-PROPOS

Ce deuxième chapitre a pour objectif de présenter les différents matériels et méthodes que nous avons utilisés pour caractériser le comportement alimentaire des chèvres en complément de ce qui est mentionné dans les articles.

La première partie concerne l'article 1 présenté dans le **chapitre 3**, qui visait à mieux connaître les préférences alimentaires des chèvres en termes de types d'aliments offerts et de positions d'alimentation permises. Le dispositif ainsi que les animaux utilisés sont présentés. La deuxième partie concerne les articles 2 et 3, présentés dans les **chapitres 4 et 5**, simultanément car le même dispositif expérimental a été utilisé. Ces deux articles visaient à caractériser le comportement alimentaire individuel pour des animaux hébergés en groupes, en fonction de leur stade physiologique et de leur stade de lactation, ainsi qu'à tester leurs capacités d'adaptation face à un changement dans leur environnement. Le dispositif, le troupeau, et les animaux utilisés sont présentés. Dans ces expérimentations, les individus étaient hébergés en groupe. Un focus sur la composition des groupes a donc été réalisé. Une troisième partie détaille comment nous avons cherché à contrôler les facteurs pouvant influencer le comportement alimentaire et explique les choix qui ont été réalisés. Enfin un focus particulier est réalisé sur les variables du comportement alimentaire qui ont été calculées dans les articles.

1. Dispositifs expérimentaux Article 1 – Préférences alimentaires chez la chèvre

1.1. L'arène de test

Le dispositif qui a été utilisé pour étudier les préférences alimentaires chez la chèvre consistait en une arène de test faite de contreplaqué (**Figure 13**). Lorsque les chèvres pénétraient dans l'arène, le mur leur faisant face présentait deux mangeoires qui pouvaient être ouvertes ou fermées indépendamment l'une de l'autre.



Figure 13. Photographie de l'arène de test utilisée pour tester les préférences alimentaires des chèvres (Crédit photo : Marjorie Cellier, photo personnelle).

Deux expérimentations ont été réalisées. Dans l'expérimentation 1, les chèvres pouvaient avoir accès simultanément à une mangeoire où l'aliment se trouvait au niveau du sol, « floor-level feeder » en anglais, et à une mangeoire en hauteur, dite « elevated feeder ». Ainsi la position que la chèvre adoptait pour se nourrir dans la mangeoire au niveau du sol mimait une position de pâturage, le museau orienté vers le sol (**Figure 14A, B**), tandis que la mangeoire en hauteur permettait à la chèvre de prélever l'aliment en ayant le museau orienté vers le haut, comme lorsqu'elle doit attraper des feuilles dans un arbre (**Figure 14C, D**). Pour que les chèvres puissent accéder à la mangeoire en hauteur, une marche permettant de poser les deux pattes avant a été ajoutée (**Figure 14C**). Deux tailles de marche permettaient à toutes les chèvres d'avoir un accès optimal à la mangeoire en hauteur. Ainsi, les chèvres qui mesuraient entre 77,5 et 86 cm du pied à l'épaule disposaient d'une marche de 30 cm de haut tandis que les chèvres mesurant de 87,5 à 91,5 cm disposaient d'une marche de 25 cm de haut.

Lors de l'expérimentation 2, seule la mangeoire au niveau du sol était utilisée. Néanmoins, une des deux mangeoires proposées était positionnée plus en hauteur, et l'accès y était possible en montant sur une plateforme pouvant accueillir les quatre pattes de l'animal, cette mangeoire était appelée « platform-level feeder » en anglais (**Figure 15A, B**). Ainsi la chèvre pouvait manger en mimant une posture de pâturage mais en étant complètement surélevée par rapport au niveau du sol.



Figure 14. Photographies représentant A) la posture de la chèvre les deux pattes sur une marche afin d'atteindre les feuilles présentées dans la mangeoire en hauteur ; B) l'intérieur de la mangeoire en hauteur avec la tête de la chèvre orientée vers le haut ; C) la posture de la chèvre mimant le pâturage ; D) l'intérieur de la mangeoire au niveau du sol avec la tête de la chèvre orientée vers le bas (Crédits photos : Marjorie Cellier, photos personnelles).



Figure 15. Photographies représentant : A) les mangeoires et la plateforme utilisées dans l'expérimentation 2 ; B) l'intérieur de la mangeoire accessible via la plateforme (Crédits photos : Marjorie Cellier, photos personnelles).

1.2. Les animaux utilisés

Le troupeau néozélandais était composé de 26 chèvres, croisées Saanen, qui ne faisaient pas partie d'un système d'élevage commercial, mais étaient uniquement utilisées pour les expérimentations. Ces chèvres n'étaient ni gestantes ni en lactation. Elles étaient écornées et âgées de 4 à 6 ans.

Cinq chèvres pilotes ont été utilisées afin de tester le bon fonctionnement du dispositif (mangeoires et portes qui s'ouvrent et se ferment correctement par exemple), pour établir la hauteur des marches utilisées pour avoir accès à la mangeoire en hauteur ainsi que pour déterminer les quantités d'aliments à fournir pour s'assurer d'être *ad libitum*. Sur ce dernier point, nous avons estimé que 1,5 kg pour les feuilles et 2 kg pour l'herbe par chèvre permettait un accès *ad libitum*. Les feuilles prenant plus de place dans la mangeoire que l'herbe, la quantité d'herbe a été augmentée par rapport à la quantité nécessaire pour l'*ad libitum* afin d'éviter un effet visuel qui aurait pu influencer les chèvres. Seize autres chèvres ont ensuite été utilisées pour les tests.

Hors expérimentation, le troupeau était constamment au pâturage et avait accès à un abri. Pendant nos expérimentations, peu d'herbe était disponible dans les pâtures à cause d'un été très sec, le troupeau était donc parqué la nuit dans un enclos comportant un abri, de l'eau *ad libitum* et une balle de foin. Pendant les tests, les chèvres utilisées étaient conduites toutes en même temps dans des enclos adjacents à l'arène de test. Ces enclos pouvaient accueillir quatre chèvres (**Figure 16**) et disposaient d'eau *ad libitum* et de foin afin d'éviter qu'elles aient faim, ce qui aurait impacté les tests. À la fin de leur test, les chèvres utilisées rejoignaient le reste du troupeau au pâturage pour la fin de la journée.



Figure 16. Photographie d'un des enclos adjacents à l'arène de test où les chèvres attendaient par quatre avant d'être testées pendant 10 minutes (Crédit photo : Marjorie Cellier, photo personnelle).

2. Dispositifs expérimentaux Articles 2 et 3 – Variabilité inter- et intra-individuelle - Capacités d'adaptation et flexibilité du comportement alimentaire

2.1. Le dispositif de mesure du comportement alimentaire individuel

Le dispositif utilisé dans les études présentées dans les **chapitres 3 et 4**, est un dispositif innovant permettant de mesurer le comportement alimentaire individuel pour des animaux hébergés en groupe. Il consiste en un ensemble d'enclos de tailles modulables suivant la réglementation sur l'expérimentation animale (**Directive 2010/63/UE du Parlement Européen et du Conseil, 2010**) pouvant accueillir 16 chèvres en case individuelle et jusqu'à 32 chèvres au total en groupe. Dans le cadre de nos expérimentations, il était divisé en enclos

pouvant accueillir quatre chèvres chacun. Chaque enclos est composé d'un sol en caillebotis en bois, d'accès à l'eau *ad libitum* grâce à deux abreuvoirs, et de quatre stations d'alimentation (**Figure 17**). Une station d'alimentation correspond à un système comprenant une antenne réceptrice (conçue par Gabard, Argentonnay, France) qui reçoit le signal provenant d'une boucle d'identification électronique portée à l'oreille par les chèvres, d'un cornadis qui ouvre ou ferme l'accès à la mangeoire et qui est débloqué grâce à l'identification électronique, ainsi qu'une mangeoire constituée d'un bac posé sur une balance (conçue par Baléa, Saint-Mathieu de Trévières, France) qui permet de peser le contenu toutes les deux secondes avec une précision de 5 grammes (**Figure 18**). Nous avons attribué à chaque chèvre une station d'alimentation, chaque station n'étant accessible qu'à une seule chèvre.



Figure 17. Photographie du dispositif permettant de caractériser le comportement alimentaire à l'âge adulte. Durant nos expérimentations, chaque case accueillait quatre chèvres. Le sol est en caillebotis en bois. Deux abreuvoirs sont présents dans chaque case ainsi que quatre stations individuelles d'alimentation (Crédit photo : Marjorie Cellier, photo personnelle).



Figure 18. Photographie présentant les différentes parties des stations d'alimentation : 1) l'antenne réceptrice permettant de lire la boucle de la chèvre et la reconnaissance RFID ; 2) la mangeoire ; 3) la balance ; 4) le cornadis débloqué lors de l'identification de la chèvre (Crédit photo : Marjorie Cellier, photo personnelle).

2.2. Les animaux utilisés

Le troupeau français est constitué d'environ 120 chèvres laitières, d'un âge moyen de 3,7 ans en 2019, des deux races les plus répandues dans les cheptels français : les alpines et les Saanen (cf. partie 2.1.2 du **chapitre 1**). La chèvrerie expérimentale de Grignon (France) est un élevage hors-sol. Les chèvres sont donc élevées dans un environnement d'élevage laitier classique avec une conduite d'élevage qui consiste à séparer les chevreaux de leur mère à la naissance, à les élever en allaitement artificiel puis à les conduire en lots avec un taux de renouvellement de 35% (en 2019). Pendant la phase lactée, le comportement alimentaire de tous les jeunes est mesuré grâce à un distributeur automatique de lait (DAL) associé à une reconnaissance RFID (cf. partie suivante pour plus de détails sur la caractérisation du comportement pré-sevrage). La mise à la reproduction est synchronisée grâce à la pose d'éponges et la reproduction s'effectue par monte en main ou par insémination artificielle. Cette synchronisation permet de gérer l'alimentation en lots en suivant les tables de recommandation d'INRA (INRA, 2018). La mise à la reproduction a lieu début août pour les multipares et début septembre pour les primipares pour une mise-bas

en janvier et février respectivement. Les chèvres en lactation sont traitées deux fois par jour, à 7h et 15h (sauf si une expérimentation impose la monotraite), et sont tarées à la mi-novembre. La production laitière moyenne est de 1 007 kg par chèvre avec un taux butyreux de 33,1 g/kg et un taux protéique de 32,2 g/kg (Contrôle laitier, 2019).

Les deux cohortes françaises de chèvres utilisées durant ma thèse comprennent des animaux dont le comportement alimentaire a été phénotypé à l'âge adulte plusieurs fois. Les animaux utilisés dans l'article du **chapitre 4** portant sur la variabilité inter- et intra-individuelle ont été caractérisés sur trois périodes et comprenaient alors durant la période 1) 32 chèvres nées en 2017 (20 alpines et 12 Saanen), caractérisées en milieu de leur première lactation ; durant la période 2) 24 chèvres nées en 2017 (12 alpines et 12 Saanen), dont 21 avaient déjà participé à la période 1, caractérisées ici à la fin de leur première lactation et milieu de seconde gestation ; et durant la période 3) 16 chèvres nées en 2018 (8 alpines et 8 Saanen) caractérisées en milieu de leur première gestation (**Figure 19**).

Les chèvres utilisées dans l'article du **chapitre 5** portant sur la flexibilité du comportement alimentaire et les capacités d'adaptation des animaux, étaient les mêmes animaux que ceux utilisés dans la période 2 précédemment citée, c'est-à-dire 24 chèvres nées en 2017.

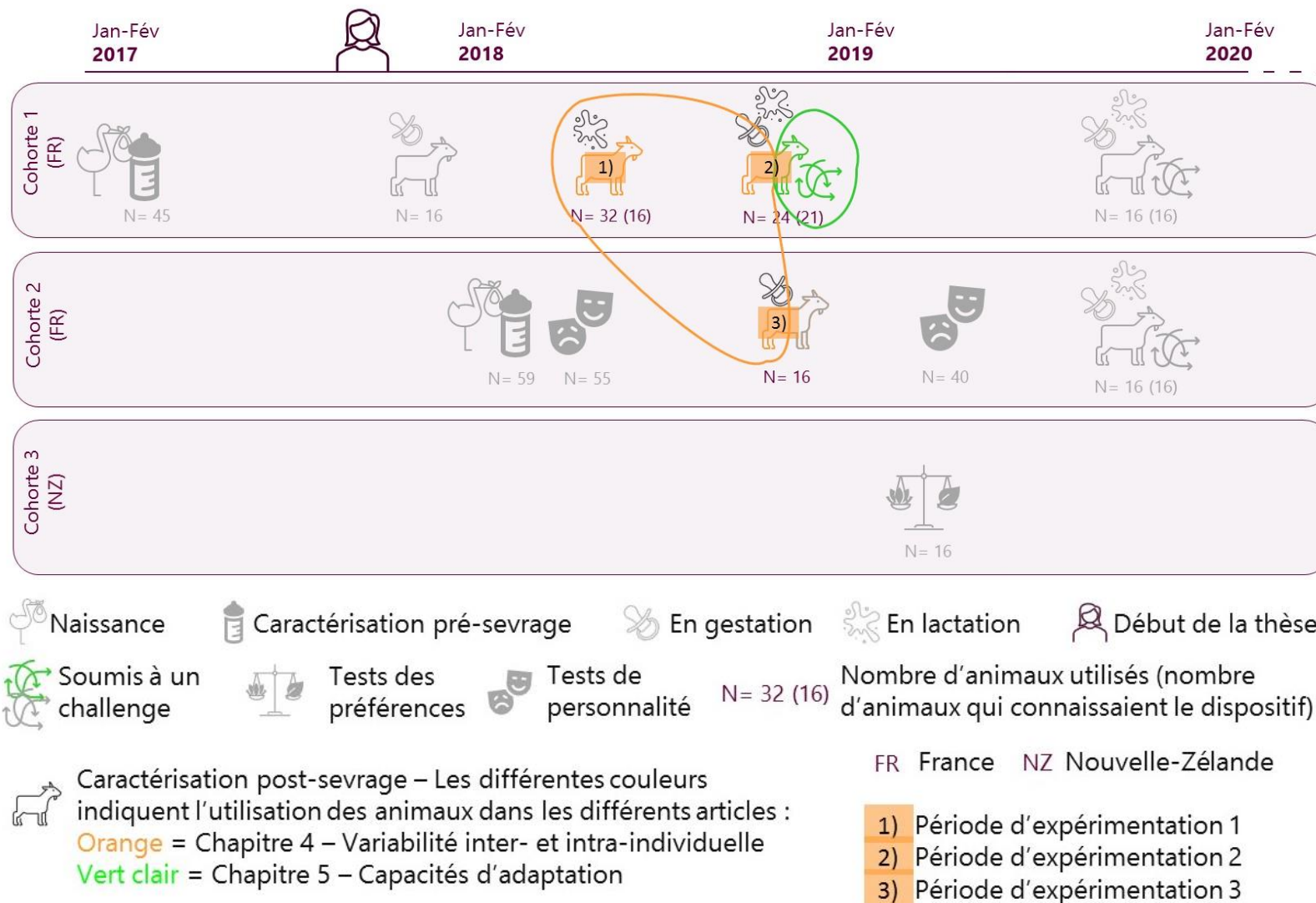


Figure 19. Chronogramme décrivant l'origine des données en lien avec la thèse en précisant les périodes d'expérimentations utilisées dans les études des chapitres 4 et 5.

2.3. Composition des groupes d'individus

Les différentes expérimentations réalisées dans les **chapitres 4** et **5** avaient un dispositif expérimental similaire. Il était toujours divisé en enclos accueillant des groupes de quatre individus, comprenant une à deux Saanen par groupe. Afin de déterminer la composition des groupes, nous avons utilisé la caractérisation du comportement alimentaire pré-sevrage, en plus de l'homogénéisation intra-groupe sur de nombreux critères (cf. partie suivante). En effet, comme tous les individus étaient phénotypés grâce à un distributeur automatique de lait (DAL) avec reconnaissance individuelle, nous avons pu définir les profils alimentaires des individus pré-sevrage. Dans ce but, le DAL était composé de deux cases, chacune comportant deux tétines qui donnaient un accès *ad libitum* à l'aliment d'allaitement. Une antenne placée au niveau de chaque tétine permettait l'identification des individus au moment de la prise alimentaire. Les chevrettes étaient hébergées en groupes d'une quinzaine d'individus, races mélangées. Le DAL permettait alors d'enregistrer la quantité d'aliment d'allaitement bue à chaque visite et le nombre de visites réalisées par chaque chevrerie, par jour, grâce à une identification RFID. Les chevrettes présentaient une large variabilité inter-individuelle du comportement alimentaire basé sur le nombre moyen de visites réalisées par jour et la quantité moyenne bue à chaque visite. Un continuum allant d'individus présentant de hautes fréquences de visites et de faibles quantités bues par visite à des individus présentant de faibles fréquences de visites associées à de fortes quantités bues par visite a ainsi été mis en évidence. Plus de détails sur cette caractérisation pré-sevrage sont présentés en **annexe 1** car elle a fait l'objet de trois communications (cf liste des publications).

L'objectif initial de la thèse étant de relier le comportement alimentaire pré-sevrage au comportement alimentaire post-sevrage, les groupes de quatre individus utilisés dans le dispositif de caractérisation alimentaire post-sevrage ont été composés à partir des profils alimentaires déterminés pré-sevrage (soit des profils similaires dans un groupe de quatre, soit des profils différents). Étant donné que les résultats préliminaires ne semblent pas montrer de lien entre le comportement alimentaire pré- et post-sevrage, nous avons fait le choix de ne pas prendre en compte le comportement alimentaire pré-sevrage dans les

analyses du comportement alimentaire à l'âge adulte et de ne pas présenter le comportement alimentaire pré-sevrage plus en détail dans ce manuscrit.

3. Facteurs contrôlés pouvant influencer le comportement alimentaire dans nos études

Bien conscients que de très nombreux facteurs pouvaient influencer le comportement alimentaire, nous avons cherché à contrôler leurs effets lors des études présentées aux **chapitres 3 à 5**. Cette partie met en évidence les choix réalisés dans le contrôle de ces facteurs.

Parité

Dans le cadre de nos expérimentations sur des chèvres adultes, plutôt que l'âge en termes de semaines, la parité est un facteur plus important à prendre en compte. Dans l'expérimentation sur les préférences alimentaires (**chapitre 3**), les chèvres étaient toutes nullipares. Ce paramètre n'a donc pas été pris en compte dans les analyses. Dans les expérimentations sur le phénotypage du comportement alimentaire des adultes (**chapitres 4 et 5**), au sein de chaque cohorte les individus étaient de même parité : primipares pour les chèvres des périodes 1 et 3, et multipares pour les chèvres de la période 2. Dans le **chapitre 4**, des comparaisons entre les cohortes ont été réalisées pour étudier les effets des stades physiologiques et de lactation. Dans ce cadre, la parité était corrélée aux stades physiologiques, qui était alors inclus dans les modèles d'analyse.

Poids vif

Le poids vif, bien que corrélé d'une certaine façon à l'âge, a été pris en compte lors de l'organisation des groupes de quatre individus (**chapitres 4 et 5**), notamment afin de limiter une certaine forme de compétition (Shinde et al., 2004). Ainsi, la variabilité intra-groupe a été minimisée afin d'avoir, dans un groupe de quatre, des individus de poids vif similaires, et ensuite, dans la mesure du possible, la variabilité inter-groupes d'une même cohorte a aussi été minimisée. Le poids vif a également été pris en compte en co-variable dans tous les modèles statistiques afin de pondérer les quantités ingérées.

Race

Lors des tests de préférences alimentaires (**chapitre 3**), uniquement des chèvres croisées Saanen ont été utilisées. En revanche, lors des caractérisations du comportement alimentaire, des chèvres de race alpine et de race Saanen ont été utilisées afin de correspondre au standard des élevages caprins français. Afin d'éviter un effet race au sein d'un groupe, les groupes de chaque cohorte ont été équilibrés pour avoir une à deux Saanen par groupe. Des comparaisons entre races ont ainsi pu être réalisées.

Aliment

Au sein de chaque expérimentation des **chapitres 4 et 5**, les mêmes rations ont été utilisées pour tous les individus et leur stabilité tout au long d'une expérimentation était vérifiée en réalisant des analyses chimiques. De telles analyses ont aussi été réalisées sur les feuilles et l'herbe fraîche utilisées dans l'expérimentation du **chapitre 3**. Leur accès *ad libitum* a été contrôlé en s'assurant que chaque individu avait une ration assez conséquente pour laisser 10 % de refus minimum avant chaque nouvelle distribution d'aliment.

Photopériode

L'effet éventuel de la photopériode a été pris en compte en réalisant les tests de préférence durant la journée, sur une même plage horaire, et lors de la caractérisation du comportement alimentaire les activités de la chèvrerie ont été maintenues aux mêmes plages horaires, weekends inclus. Les expérimentations ont de plus été réalisées à des périodes de l'année où aucun problème de température ne pouvait se poser.

Adaptation

Le dispositif utilisé dans le **chapitre 3** a été développé spécialement pour cette étude. Il se basait sur celui utilisé par Neave et al. (2018b) dans une étude précédente. Les deux expérimentations se sont déroulées sur un total de six semaines, les deux premières consistant en huit jours d'adaptation au dispositif. Le but était que les chèvres comprennent que des aliments étaient présentés dans les mangeoires, comment accéder aux mangeoires (notamment celle en hauteur où il fallait mettre les deux pattes avant sur la marche pour

atteindre les aliments), comprendre que lorsque les 10 minutes de test étaient écoulées une porte s'ouvrait et qu'elles devaient sortir du dispositif (les mangeoires étaient également fermées de l'extérieur grâce à des portes coulissantes), et afin que cet environnement leur soit familier pour réduire le stress inhérent à l'introduction des animaux dans un nouvel environnement (Miranda-de la Lama et al., 2012). Entre la première et la deuxième expérimentation, deux jours d'adaptation ont été nécessaires car la marche était remplacée par une plateforme.

Le dispositif utilisé dans les **chapitres 4** et **5** a aussi été développé récemment, à l'UMR MoSAR, et a été amélioré tout au long de la thèse. En effet, dans de précédentes études réalisées à l'UMR, le comportement alimentaire était mesuré chez des individus isolés dans des cases individuelles de petite taille (1,20 m x 0,70 m) qui ne répondaient plus, en termes de surface disponible, à la directive européenne sur l'expérimentation animale (Directive 2010/63/UE du Parlement Européen et du Conseil, 2010). Ainsi, ce nouveau dispositif permettant de mesurer le comportement alimentaire pour des individus en groupe a été développé et installé à la chèvrerie de Grignon (France) en 2017. L'étude pilote que nous avons organisée au tout début de ma thèse (fin 2017) était alors la première utilisation du dispositif. Cette étude pilote a permis de développer notamment une procédure d'adaptation des chèvres à ce dispositif à laquelle j'ai pu contribuer (**annexe 3**). L'adaptation des chèvres avec intervention humaine se déroulait sur deux jours. L'objectif était d'attirer, à l'aide d'un aliment appétent (ici une poignée de concentré), les chèvres à la station alimentaire qui leur était désignée. Elles devaient ainsi apprendre leur emplacement, mais aussi apprendre à attendre le bruit inhérent à la reconnaissance RFID et au déblocage du cornadis afin de pouvoir l'ouvrir et avoir accès au concentré et à la ration. Il a été constaté que les chèvres apprenaient très vite où se situait leur place et comment ouvrir le cornadis sans le bloquer, d'autant plus quand elles étaient en groupes de seulement quatre individus. Il a aussi été observé que les chèvres qui connaissaient déjà le dispositif se réadaptaient très vite, même après plusieurs mois sans avoir été en expérimentation. Elles montraient ainsi moins de difficultés à ouvrir leur cornadis ou à retrouver leur place.

Comportement social

Dans le dispositif des **chapitres 4 et 5**, les chèvres étant hébergées en groupes de quatre individus, il a aussi fallu prendre en compte le comportement social des animaux, et surtout les risques de compétition pour l'alimentation. Hors expérimentation, les chèvres sont hébergées en groupe de 30 à 35 individus et les allotements sont évolutifs au cours de l'année avec un regroupement en fonction du stade de lactation avant et après la mise-bas, en fonction du niveau de production pendant la lactation et en fonction du type de reproduction (insémination artificielle ou saillie) lors de la reproduction. Étant donné qu'une seule cohorte a été utilisée par expérimentation et que la variabilité intra-groupe en ce qui concerne les niveaux de production a été minimisée, les chèvres d'un même groupe de quatre étaient pour la plupart déjà familières les unes aux autres. Une autre façon de limiter la compétition a été d'attribuer une seule et unique station d'alimentation à une seule chèvre. Ainsi, avec un accès *ad libitum* à l'aliment de sa mangeoire, une chèvre donnée pouvait être moins tentée de réaliser un vol dans une autre mangeoire. De plus, notre système permettait que, lorsqu'une chèvre était identifiée à la bonne station d'alimentation, elle disposait de deux secondes pour abaisser son cornadis et avoir accès à l'aliment avant que celui-ci ne soit de nouveau bloqué. Ce laps de temps de deux secondes devait permettre d'éviter qu'une « mauvaise chèvre » ne profite de l'identification de la « bonne chèvre » à la station d'alimentation pour réaliser un vol d'aliment. Un ajustement à 1,5 secondes a été appliqué dans les expérimentations ultérieures.

En parallèle de ces restrictions d'accès, des bat-flancs étaient positionnés entre chaque station d'alimentation. L'étude pilote réalisée a néanmoins permis de mettre en évidence que la taille des bat-flancs utilisés, 42,5 cm de haut pour 34,5 cm de large, ne permettait pas totalement d'éviter les vols d'une chèvre dans la mangeoire d'une autre. Nous avons donc pris la décision de remplacer ces bat-flancs par de nouveaux, plus longs, mesurant 60 cm au point le plus haut sur 60 cm de long. Ces nouveaux bat-flancs, qui ont été utilisés dans les études présentées dans ce manuscrit, obligeaient la chèvre à reculer davantage lorsque la « voleuse » tentait de prendre sa place et laissaient ainsi le temps au cornadis de se verrouiller. Aucun vol n'a alors été constaté.

Santé

Enfin, un dernier facteur a été particulièrement surveillé : la santé des animaux. En effet, l'ingestion journalière étant un bon indicateur de l'état des animaux, elle a été suivie tout au long des expérimentations. Si une baisse importante était constatée, en plus de l'observation directe des chèvres, des enregistrements vidéo nous permettaient de contrôler leur comportement et de vérifier si cette différence d'ingestion était liée à un problème du dispositif (par exemple un cornadis qui se bloque en position fermée), ou à un problème au niveau de l'individu.

4. Les variables du comportement alimentaire

Grâce au dispositif utilisé dans les études présentées aux **chapitres 4 et 5**, nous obtenions des données toutes les deux secondes. Pour les utiliser afin de décrire le comportement alimentaire, un algorithme permettant de créer des plateaux a été mis au point (Blavy et al., 2020). Les plateaux correspondent aux moments où le poids relevé par la balance est stable pendant au moins 10 secondes (c'est-à-dire 5 enregistrements consécutifs) car la chèvre n'est pas en interaction avec la station d'alimentation. Entre ces plateaux, le poids de l'aliment est instable car la chèvre interagit avec la station et/ou avec l'aliment. Les plateaux ont été appelés des pauses, et les instabilités du poids correspondent à des visites à la mangeoire. Certains auteurs se sont satisfaits d'utiliser les visites pour caractériser le comportement alimentaire. Néanmoins, regrouper les visites en termes de repas permet une autre évaluation biologique du comportement alimentaire. En effet, le repas est en fait une succession d'évènements alimentaires séparés par de courts intervalles. Il va être distingué du repas suivant par un intervalle de temps de non-ingestion qui sera plus long que les intervalles rencontrés au sein d'un repas (Tolkamp et al., 1998). En choisissant d'utiliser le repas comme unité de mesure du comportement alimentaire, nous devons déterminer un critère de repas (« meal criterion » en anglais) qui correspond à une estimation de l'intervalle non alimentaire le plus long qui peut être considéré comme prenant part au repas. Pour déterminer cela, nous avons calculé un intervalle intra-repas selon la méthode décrite par Tolkamp et al. (1998). Après avoir transformé les durées de plateaux (c'est-à-dire de pauses entre les visites) en logarithmes, nous avons observé la

répartition des fréquences de ces log pour chaque individu. Contrairement à [Tolkamp et al. \(1998\)](#), nous n'avons pas trouvé deux distributions normales (**Figure 20A**), mais une distribution normale claire qui se termine par un plateau (**Figure 20B**) pour un intervalle intra-repas équivalent à 8 minutes. La première partie de la distribution correspond aux hautes fréquences pour de courts intervalle intra-repas, et le reste de la distribution pour les intervalles longs correspondant alors à des intervalles entre les repas. Ce critère de repas (8 minutes) est un peu plus court que celui trouvé dans la littérature pour les chèvres (par exemple 13,19 minutes, [Gorgulu et al., 2011](#)) et son utilisation est discutée dans le **chapitre 6**. Enfin, pour combiner les visites à la mangeoire en repas, le poids de l'aliment consommé et le temps d'occupation de la station alimentaire ont été sommés pour toutes les visites séparées de moins de 8 minutes. Au vu de la précision de nos balances (5 grammes), nous avons aussi choisi de supprimer les repas inférieurs à 10 g ainsi que ceux qui dureraient moins de 10 secondes car ils pouvaient être considérés comme des artéfacts expérimentaux.

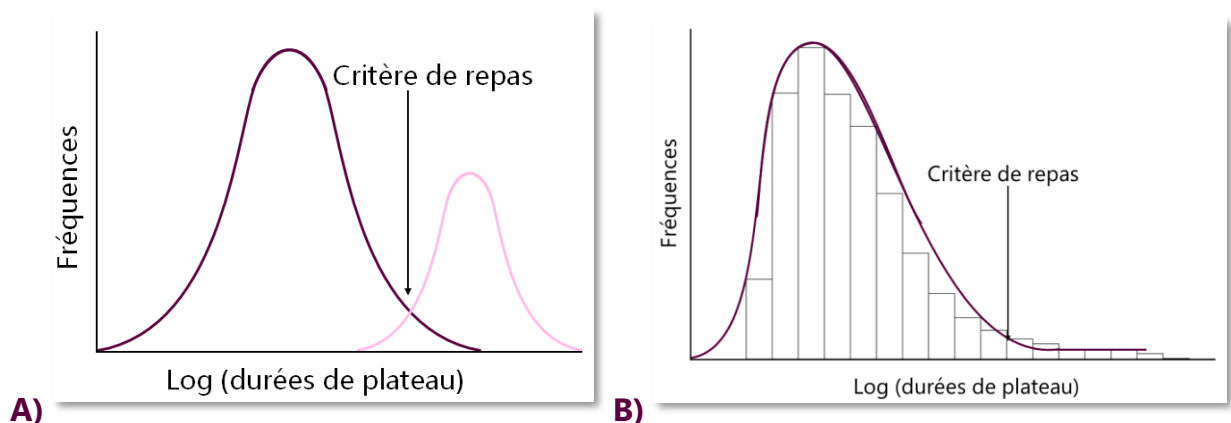


Figure 20. Représentation schématique de la détermination du critère de repas A) selon la méthode de [Tolkamp et al., \(1998\)](#) ; B) utilisée dans nos études.

Une fois le repas défini, des auteurs ont parfois distingué deux types de repas : le repas principal, caractérisé par sa longue durée et se situant juste après la distribution de la ration, et les repas secondaires qui sont moins importants et sont intercalés entre les repas principaux ([Abijaoudé et al., 2000a](#)). On peut caractériser un repas selon trois critères : sa taille (FIM : Feed Intake per Meal en anglais en grammes) qui correspond à la quantité d'aliment ingérée par repas, sa durée (DUM : Duration of a meal en anglais en minutes) et sa fréquence (NDM : Number of Daily meal en anglais) qui correspond au nombre de repas

qui interviennent au cours la période choisie, ici de 15h00 du jour N à 15h00 du jour N+1 (Nielsen, 1999). Ces trois critères permettent d'en calculer trois autres : le temps passé à ingérer par jour (DFT Daily Feeding Time en anglais, généralement exprimé en minutes) qui se réfère à la somme des durées des repas par jour, la quantité ingérée par jour (DFI Daily Feed Intake en anglais en grammes ou kilogrammes) qui correspond à la somme des tailles de repas par jour, et la vitesse d'ingestion (Feeding Rate en anglais) qui se calcule en faisant le ratio de la taille de repas divisée par la durée du repas et qui correspond à la vitesse à laquelle l'aliment est ingéré (Figure 21). Ces six variables du comportement alimentaire ont donc été calculées dans les études des chapitres 4 et 5.

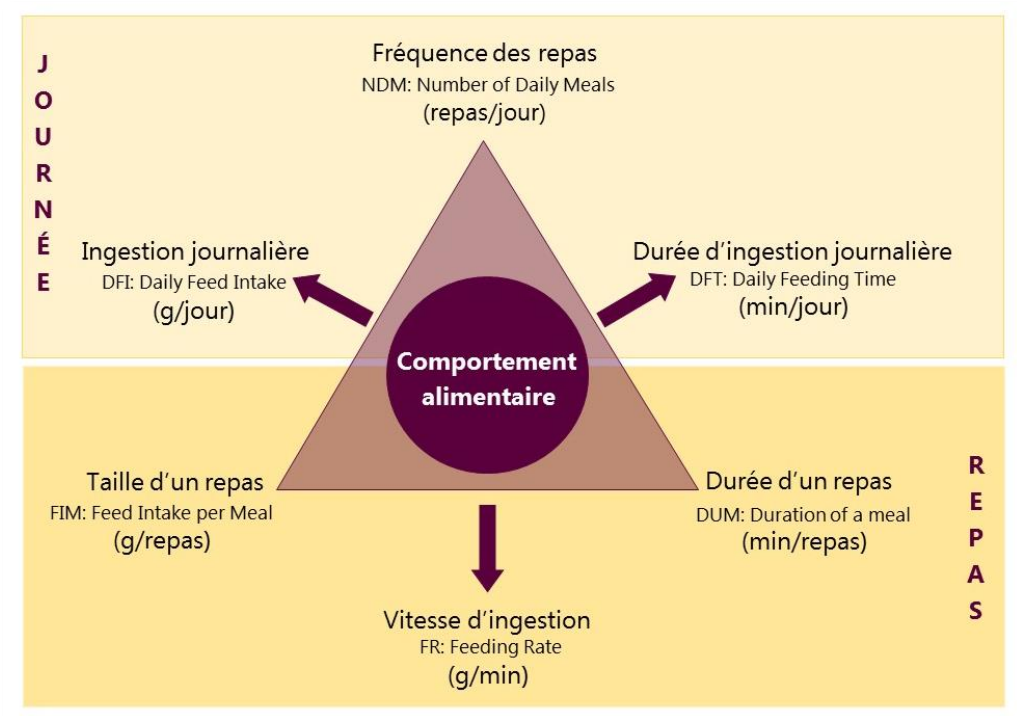
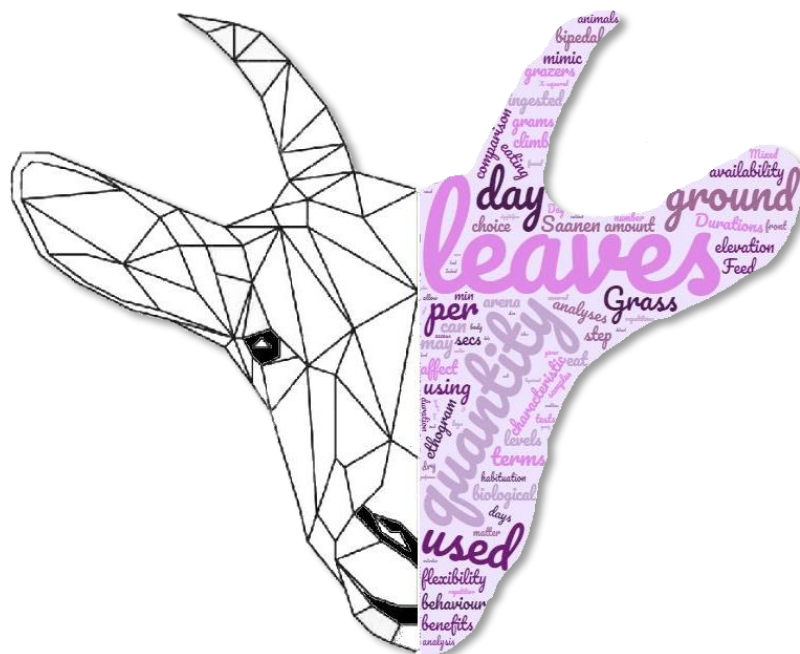


Figure 21. Triangle représentant les six variables du comportement alimentaire (d'après Nielsen, 1999)

CHAPITRE 3.

Étude des préférences alimentaires des chèvres en termes de postures d'alimentation et de types d'aliments



Cet article a été soumis pour publication au journal *Frontiers in Veterinary Science* en janvier 2021.

Résumé

Les systèmes d'élevage caprin ont traditionnellement été conçus sans tenir compte des comportements naturels des animaux. Néanmoins, des modifications mineures pourraient être apportées pour permettre aux animaux d'exprimer certains de ces comportements. Toutefois, afin de pouvoir faire des propositions pour de tels changements, il est important de comprendre quelles sont les possibilités que les chèvres apprécieraient le plus dans leur environnement. Ainsi, les objectifs de cette étude étaient d'évaluer les préférences des chèvres en termes de posture d'alimentation et de tester l'influence du type d'aliment proposé sur cette préférence.

Seize chèvres croisées Saanen, âgées de 4 à 6 ans ont été utilisées afin de réaliser deux expérimentations sur huit jours de prise de données chacune. La première expérimentation consistait à proposer différentes combinaisons de position (ou hauteur) d'alimentation (une mangeoire au niveau du sol et une mangeoire en hauteur dont l'accès était permis en posant les deux pattes avant sur une marche) et de type d'aliment (de l'herbe et des feuilles fraîches) sous la forme d'un carré latin 8x8. La deuxième expérimentation était similaire si ce n'est qu'on s'intéressait plutôt aux postures d'alimentation avec une mangeoire de type « niveau du sol » avec un accès direct vs le même type de mangeoire mais dont l'accès était surélevé par une plateforme sur laquelle la chèvre devait poser les quatre pattes pour pouvoir s'alimenter. Dans les deux expérimentations, les chèvres étaient testées une fois par jour, pour une combinaison, pendant 10 min. La quantité de chaque aliment consommé et le temps passé à ingérer ont été comparés entre les positions des mangeoires puis entre les types d'aliments pour chaque expérimentation. Le pourcentage d'aliments consommés et le pourcentage du temps passé à consommer des aliments dans la mangeoire ont été calculés pour chaque combinaison. Les pourcentages de temps passé à manger et de quantité d'aliment ingéré dans la mangeoire en hauteur (expérimentation 1) et dans la mangeoire avec plateforme (expérimentation 2) ont été comparés entre les quatre types de combinaisons. Ces pourcentages ont aussi été comparés à 50% qui est la valeur obtenue si les chèvres ne présentaient pas de préférence. La première mangeoire visitée, que la chèvre ait consommé ou non de l'aliment, a été enregistré. Le nombre de

changements de mangeoires ainsi que la durée des comportements tels que l'exploration ont aussi été relevés.

Lorsque des feuilles étaient proposées, elles étaient préférées, quelle que soit leur hauteur de présentation. Lorsque l'herbe, un aliment qui est normalement associé à une position de pâturage, était proposée dans les deux types de mangeoires lors de la première expérimentation, les chèvres ont préféré et ont passé plus de temps à se nourrir dans la mangeoire en hauteur. Ce résultat est conforme à celui rapporté par Neave et al. (2018b). À l'inverse, quand l'herbe était proposée dans les deux mangeoires de la deuxième expérimentation, les chèvres n'ont pas montré de préférence. Cela suggère que la motivation à se nourrir en hauteur ne dépend pas du fait d'être au-dessus du sol (avec la plateforme), mais bien de la posture d'alimentation avec la tête orientée vers le haut. Lorsque seules des feuilles étaient proposées dans l'une ou l'autre des expérimentations, les chèvres n'ont montré aucune préférence pour les positions d'alimentation, elles répartissaient leur ingestion sur les deux mangeoires, ce qui peut refléter le côté opportuniste des chèvres (Lu, 1998). La première mangeoire visitée n'était pas forcément celle dans laquelle la quantité consommée et le temps passé à ingérer étaient les plus importants, c'est-à-dire la mangeoire préférée, contrairement à ce que Haschick et Kerley (1996) avaient suggéré. La différence entre la première mangeoire visitée et la position d'alimentation préférée pourrait être due à un nombre de changements de mangeoire et à une durée des comportements exploratoires importants, notamment relevés quand uniquement de l'herbe était proposée. Une grande variabilité inter-individuelle dans les préférences de position d'alimentation a également été observée.

Nous avons montré que les préférences alimentaires des chèvres étaient aliment-dépendantes. La variabilité de réponse observée pourrait être exploitée si différents types de mangeoires étaient installés dans les élevages afin de permettre aux chèvres d'exprimer leurs comportements naturels ce qui contribue à combler leurs attentes dans le but d'avoir un meilleur bien-être.

Browse or browsing: investigating goat preferences for feed type and feeder position

Marjorie Cellier¹, Birte L. Nielsen¹, Christine Duvaux-Ponter¹, Hannah B.R. Freeman², Briar Murphy², Emma O'Connor², Kevan Cote², Gosia Zobel^{2*}

¹*Université Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech, UMR Modélisation Systémique Appliquée aux Ruminants, 75005, Paris, France*

²*Animal Welfare, AgResearch Ltd., Ruakura Research Centre, Hamilton 3240, New Zealand*

*** Correspondence:**

Corresponding Author

gosia.zobel@agresearch.co.nz

Keywords: feeding behavior, natural behavior, welfare, individual variability, pasture, leaves.

Journal: *Frontiers in Veterinary Science*.

Impact factor: 2.245

Submitted in: January 2021

Abstract

The natural feeding behavior of goats is markedly different from that imposed on goats reared in a conventional farm system, in terms of complexity, feeding duration and body posture during feeding. Nevertheless, it is possible to provide opportunities to promote natural behavior. To make such changes, however, it is important first to understand which opportunities goats value most in their environment. Our study investigated the browsing motivation of goats, specifically whether this motivation was related to feeding posture, to the type of feed offered or to the possibility to feed raised above the ground. Sixteen female (nonlactating, nonpregnant), disbudded Saanen cross goats were used. The study was divided into two experiments consisting of a habituation period followed by two periods of 4 days testing: Exp1) evaluating preference for two feeding postures (grazing vs browsing) alongside two feed types (leaves vs grass) and Exp2) evaluating preference for feeding raised above the ground (grazing ground level vs grazing elevated) alongside the same two feed types. The quantity of feed eaten, the time spent feeding and the number of feeder changes (i.e. feeding/exploring at one feeder and switching to the other) were compared between feeder positions and between feed types for each experiment. The first feeder visited (i.e. the first location the goat approached during each test, regardless of feed consumption) was used to test for potential side preferences. Preferences for feeding from an elevated position depended on the feed type. Moreover, the first feeder visited was not the preferred feeder in terms of quantity consumed and time spent feeding from the feeder. Leaves were highly preferred over mixed cut grass by all goats. When goats were offered grass in both feeders, they explored more and changed feeders more, suggesting a search for another feed source. There was a large inter-individual variability in terms of feeder position preference. This variability could be exploited if different types of feeders were installed for groups of goats, allowing individuals to feed in different postures and express their natural feeding behavior, ultimately contributing to a better welfare.

Introduction

Society is becoming increasingly interested in the welfare of farmed animals. The importance of providing animals with a 'good life' (Yeates, 2018) requires more than just ensuring animals are healthy and productive. In this context, the French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety (ANSES, 2018) gave a new definition of welfare: "*The welfare of an animal is the positive mental and physical state related to the satisfaction of its physiological and behavioral needs as well as to its expectations. This state varies according to the animal's perception of the situation*". One of the means for satisfying the behavioral needs of animals is to consider their natural behavior. Bracke and Hopster (2006) defined natural behavior as the behavior that animals tend to adopt when given the opportunity under natural conditions. Natural behaviors promote biological functioning in the environment in which the animal evolved; they include such behaviors as foraging, grooming, exploring, or playing, and these are important for animal welfare. Natural behaviors satisfy needs which are positively motivated and are likely to involve patterns which are associated with positive states (Špinka, 2006). Preventing animals from expressing natural behaviors can lead to some behavior alterations. For example, although nutritional requirements are fulfilled, if cattle housed indoor are not provided with sufficient roughage, oral stereotypies such as tongue rolling may occur (Redbo and Nordblad, 1997). Tongue rolling is similar to the natural oral manipulation of grass on pasture and therefore has been suggested to be a response to grazing behavior being thwarted (Beaver et al., 2019). Goats being housed indoors may face similar thwarted situations. Commercial dairy goat farming systems have focused on promoting good production and health outcomes, and thus often fail to consider providing opportunities for naturalness. We suggest that housing alterations are however possible, particularly with regard to feeding management. In order to make such changes, it is important to understand which opportunities goats value most in their environment.

Under natural conditions, goats show great adaptation and flexibility in their feeding behavior. For example, Shi et al. (2003) showed that feeding duration in feral goats was influenced by both the time of year (with the lowest level in late summer) and the time of

day (crepuscular, with an additional less obvious midday peak). Preference for certain plant species by feral goats was also different across seasons (Aldezabal and Garin, 2000). Goats are classified as both browsers and grazers (Goetsch et al., 2010), and actively forage at different heights. This inclusion of the third dimension (height) when foraging has advantages, as it widens the foraging zone, and may reduce predator and parasite risks (Lu, 1988; Beauchamp, 2015). Different factors influence selective feeding behavior, including the way the feed is presented. Van et al. (2005) suggested that hanging foliage was the best way to improve consumption in goats, and Sanon et al. (2007) reported that goats could browse up to a height of 2.1 m, more than twice the height of their bodies. Elevation may also be an important contributor to natural browsing behavior, as goats have been observed feeding perched in trees (El Aich et al., 2007).

The natural feeding behavior of goats is markedly different from that imposed on goats reared in a conventional farm system, in terms of complexity, feeding duration and body posture during feeding. In commercial systems, the feed is generally provided on the ground outside a feed rail, and the design of the feed rail varies depending on whether the goats are horned or not (Loretz et al., 2004; Nordmann et al., 2015). However, these systems may increase discomfort and risk of injury, and thus may negatively affect animal welfare (Keil et al., 2017). Adding to the complexity of the feeding system is not just how the feed is delivered, but also the type of feed that is provided. To achieve high levels of milk production, modern rations are typically rich in concentrates and predominantly homogenous (e.g. Zobel et al., 2015; Murney et al., 2019); these rations rarely contain any form of browse (i.e. shoots, twigs, leaves of trees and shrubs), thus limiting the possibilities of feed selection by goats (Rubino et al., 2011).

Aschwanden et al. (2009) found that allowing goats to eat whilst standing on an elevated platform increased feeding time compared to feeding from the floor. Similarly, Neave et al. (2018) demonstrated that young Saanen cross female goats consumed more feed when given the opportunity to eat from an elevated feeder that promoted a browsing body position, compared to a floor feeder mimicking the grazing position. In these studies, feed was standardized across all feeder positions, and the goats were more competitive when

they had access to the elevated feeders. However, the use of one type of feed allowed the authors to focus on the choices made between proposed alternatives and rank them, but without testing the strength of the preferences (defined by Kirkden and Pajor, 2006). Therefore, our study investigated the browsing motivation of goats, specifically whether this motivation was related to feeding posture, to the type of feed offered or to the possibility to feed raised above the ground.

The aim of this study was to investigate if a potential preference in terms of posture during feeding would be affected by the type of feed offered. The study was divided into two experiments: Exp1) evaluating preference for two feeding postures (grazing vs browsing) combined with two feed types (leaves vs grass) and Exp2) evaluating preference for feeding raised above the ground (grazing ground level vs grazing elevated) alongside the same two feed types.

We hypothesized that preference would be in the following order (most preferred to least preferred): browse consumed in browsing posture, browse consumed in grazing posture, mixed cut grass consumed in browsing posture, and mixed cut grass consumed in grazing posture (Exp1). Similarly, we hypothesized that goats would preferentially use the elevated option when only grazing posture was available (Exp2). We also hypothesized that the duration of exploratory behavior will differ depending on the combinations of feeder position and feed type offered.

Materials and methods

The study was conducted from February to March 2019 at the Ruakura Research Centre in Hamilton, New Zealand. All procedures were approved by the Ruakura Animal Ethics Committee (Hamilton, New Zealand: no. 14680) under the New Zealand Animal Welfare Act 1999.

1. Animals, housing, and diet

Sixteen female (nonlactating, nonpregnant), disbudded Saanen cross goats (four to six years old; mean (\pm SD) body weight: 75 ± 10.6 kg) were enrolled from a herd of 26 animals. Prior to the beginning of the study, the goats were on pasture 24 h/day, with access to a shelter. Eight days prior to the beginning of testing, goats were habituated to the experimental housing and feeding schedule.

At 9:00 h on habituation and testing days, the goats were moved into four adjacent pens (each pen was approximately 18 m^2), bedded with wood shavings, equipped with a hay rack and with *ad libitum* access to water. Goats were randomly assigned to testing order, and always kept in the same groups of four, in order of test appearance (i.e., goats 1-4 in pen 1, goats 5-8 in pen 2, etc.). Testing took place between 10:00 and 16:00 h each day. Hay was provided in the pens in sufficient amounts to ensure continuous access during the time spent there, thus reducing the risk that testing was impacted by hunger. Upon completion of testing, goats were moved onto pasture with the rest of the experimental herd for the rest of the day. Minimal pasture availability due to dry summer conditions resulted in the herd being contained overnight (beginning at 16:30 h) in an area of approximately 148 m^2 with a covered shelter of 52 m^2 and provided with approximately 0.7 kg/goat of meadow hay (comprised of ryegrass and white clover) in a bale-sized hay rack.

2. Experimental design and test procedure

The testing arena (W: 3.6 m, L: 4.8 m, H: 1.8 m) had solid plywood walls, and a concrete floor that was partially covered by plywood ($4.0 \text{ m} \times 1.2 \text{ m}$) in the area directly in front of the feeders (**Figure 1**). For each test, a goat was led into a corridor (W: 0.35 m, L: 1.4 m, H: 1.8 m), where it waited 30 s between two closed doors, before being given access to the testing arena. The long wall of the testing arena was configured to allow for the two feeder types to be independently opened and closed on each side.

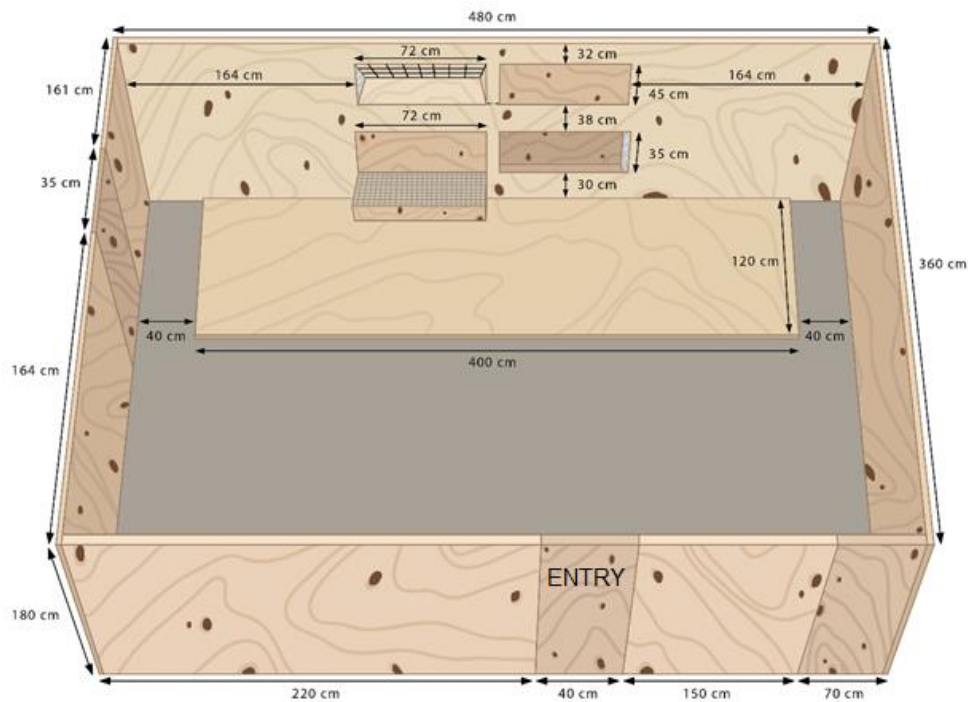


Figure 2. Layout of the testing arena with solid plywood walls and a concrete floor that was partially covered by plywood directly in front of the feeders. It contained two feeders opened per test (one elevated-feeder accessible by a step, one floor-level feeder). Both feeders were plywood boxes with a plate of acrylic glass at the end, but in the elevated feeder the bottom was angled at 45°. For each test, the combination of feed type (poplar leaves or mixed cut grass) and feeder position (elevated feeder and floor-level feeder) was changed for each goat. The step was covered with a mesh to prevent slipping.

Two feed types were used in the tests: freshly cut, mixed cut grass (MIX) and poplar leaves (POP: *Populus deltoids* x *Populus nigra*). MIX was cut once a day using an Alp Silver cut front mount mower and a Bergman 28S wagon. In Exp1, due to equipment availability, feed was delivered between 8:30 and 9:30 h; in Exp2 all deliveries were standardized to 9:30 h POP was cut manually using hedge clippers twice a day and delivered at 9:30 and 13:00 h. Both feeds were offered in both experiments. In Exp1, feed was presented in a floor-level feeder (**Figure 2A**) and in an elevated feeder paired with a step (W: 0.76 m, L: 0.40 m, Figure 2B) on which the goats could only put two front legs. In Exp2, feed was presented in a floor-level feeder (**Figure 2A**), paired with the same form of feeder accessible via a platform (W: 1.2 m, L: 1.2 m, H: 0.30 m; platform-level feeder, **Figure 2C**) which the goats could stand on with all four legs.

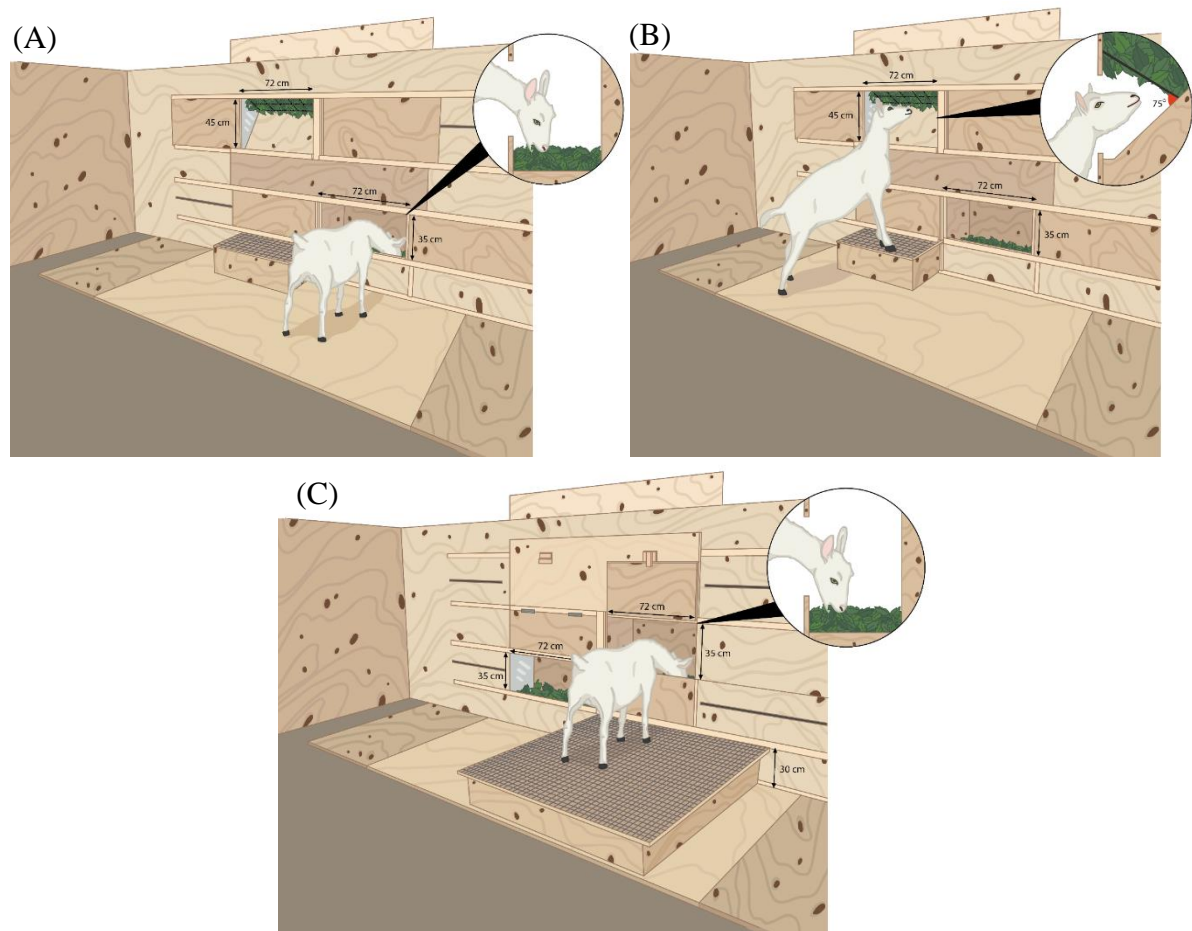


Figure 3. Detailed graphics of the three types of feeders used. (A) Floor-level feeder: head of the goat lowered during feeding, ground-oriented, to mimic grazing. (B) Elevated feeder: the head and the body of the goat were pointing upwards with two front hooves on a step to mimic browsing. The step was covered with a mesh to prevent slipping. (C) Platform-level feeder was identical to the floor-level feeder, but accessible by putting all four legs on a platform. Head of the goat lowered during feeding, ground-oriented, to mimic grazing. The platform was covered with a mesh to prevent slipping.

Each experiment consisted of a habituation period (four days in Exp1 and two days in Exp2) followed by two periods of four days of testing. To avoid side bias, an 8x8 Latin Square design ensured that each feed and feeder combination was presented on both sides to every goat (**Table 1**). All tests (including habituation periods) lasted 10 min per goat.

Table 2. Example of treatment schedule for one goat as determined using an 8x8 Latin Square.

	Elevated feeder left-hand side	Elevated feeder right-hand side	Floor-level feeder left-hand side	Floor-level feeder right-hand side
Day 1	Mixed cut grass			Leaves
Day 2		Mixed cut grass	Mixed cut grass	
Day 3		Leaves	Mixed cut grass	
Day 4	Leaves			Leaves
Day 5		Mixed cut grass	Leaves	
Day 6	Mixed cut grass			Mixed cut grass
Day 7	Leaves			Mixed cut grass
Day 8		Leaves	Leaves	

The elevated feeder was positioned 1.03 m from the ground and the floor-level feeder was positioned 0.30 m from the ground.

2.1. Experiment 1

2.1.1. Feeders

Feeders were made up of plywood, with a plate of acrylic glass on one side to allow camera view inside the feeder. The floor-level feeder was accessible via an opening at 0.30 m from the ground which allowed the goat to pass its head through and to eat with the head facing down in a grazing position (**Figure 2A**). The elevated feeder had an opening (1.03 m from the ground) which allowed the goat to eat with its head angled upward, and a step that was adjusted based on the height of the goat. Using six pilot goats from the main herd to determine optimal posture, two steps were developed. Enrolled goats measuring between 77 and 86 cm at the shoulder were given a 30 cm high step (n = 7), while goats measuring between 88 and 92 cm were given a 25 cm step (n = 9). Due to some slipping noticed on day 3 of the first testing period, mesh (chicken wire, mesh opening 6 mm) was added to all steps. The bottom of the elevated feeder was angled at 45° and the feed was placed on steel mesh, forming a 75° angle with the bottom of the feeder (**Figure 2B**). To allow for the presentation of all feeder combinations, and to avoid disturbing the goat during testing, sliding doors controlled by technicians on the outside of the pen, made it possible to close

the feeders remotely and independently of each other.

2.1.2. Habituation and testing schedule

On the first day of habituation (day -8), pairs of goats were given arena access with the feeders closed. On day -7 and day -6 of habituation, the same pairs were presented with access to either two floor-level or two elevated feeders. Feeder presentation was randomized for each pair of goats. To ensure goats interacted with the feeders, each feeder contained two familiar feeds, which the goats routinely receive in the winter as supplemental feed: 1 kg of alfalfa silage (Equifibre® Lucerne Pro, Dunstan Horse Feeds, Ltd., Hamilton New Zealand) and 160 g of pellets (Fiber Grow, Dunstan Horse Feeds, Ltd., Hamilton New Zealand). Over the four following days, feeders continued to be open in the same manner, except that goats were habituated alone. Feeder presentation (two floor-level or two elevated feeders) was randomized for each goat. On the final day of Exp1 habituation (day -1), goats were presented with one floor-level and one elevated feeder. Beginning the following day (day 1), an 8x8 Latin square protocol was followed for each goat, presenting treatments as outlined in Table 1. Feeders contained either 2 kg of MIX and/or 1.5 kg of POP; these quantities were defined after testing with five pilot goats from the main herd to ensure both feed types were available *ad libitum* during the 10 min tests.

2.2. Experiment 2

2.2.1. Feeders

The same testing arena was used as in Exp1 (**Figure 1**). The floor-level feeder was the same (**Figure 2A**), whereas the elevated feeder was replaced by a floor-level feeder on top of a platform (**Figure 2C**). The opening of the feeder was positioned 0.60 m from the ground. Access to each feeder, as well as opening and closing, was accomplished using a wooden board slipped across the opening.

2.2.2. Habituation and testing schedule

As the goats were already familiar with the testing procedures, as well as the floor-level feeder, and the experiments were run one after the other, Exp2 habituation lasted two days. Goats were individually presented with two platform-level feeders. All other details (goat order, quantity of feed presented and Latin square design) were repeated from Exp1.

3. Feed intake and quality

After each goat completed a test, feed refusals from inside and outside each feeder were collected separately and weighed to calculate feed intake in fresh matter. In both experiments, feed samples were taken 15 min prior to goat 1 and goat 9 beginning testing, and 30 min after goat 8 and goat 16 ending testing. All samples were frozen immediately at -20°C. To allow for accurate soluble sugar analysis, Exp2 included a duplicate sample frozen in liquid nitrogen. These samples were put in a polystyrene box and covered completely with liquid nitrogen. Samples remained in this closed box for 5 to 10 min, and after the liquid nitrogen evaporated, the samples were placed in the freezer (-20°C). After that, a sublimation process was used to dry the samples.

Samples corresponding to two days of Exp1 were analyzed separately (i.e. four samples per day for leaves and two samples per day for mixed cut grass) by wet chemistry analysis (Nitrogen, Dry Matter, Crude Protein, Acid Detergent Fiber, Neutral Detergent Fiber, Soluble Sugars, Starch; Hill Laboratories, Hamilton, New Zealand). These analyses determined that the chemical components were stable throughout the day and the remaining samples from Exp1 and those from Exp2 of the same feed type were therefore pooled per day before being chemically analyzed. The average chemical compositions per experiment are presented in

Table 2.

Table 3. Average (SD) chemical composition of the feed (MIX: mixed cut grass, POP: leaves of poplar and hay) used in Exp 1 and Exp 2.

	MIX	POP	Hay ¹	MIX	POP	Hay ¹
	Exp 1			Exp 2		
N_DM (% DM)	2.15 (0.24)	2.21 (0.03)	1.69 (0.51)	2.20 (0.04)	2.37 (0.19)	1.65 (0.14)
N (%)	2.03 (0.24)	2.09 (0.05)	1.61 (0.44)	2.05 (0.03)	2.22 (0.15)	1.55 (0.14)
DM (%)	28.95 (2.76)	41.15 (1.98)	88.25 (0.39)	28.44 (1.97)	39.76 (2.39)	87.35 (2.51)
CP_DM (% DM)	13.42 (1.39)	13.75 (0.29)	10.61 (3.20)	13.87 (0.30)	14.76 (1.12)	10.36 (0.94)
ADF_DM (% DM)	29.65 (0.78)	23.00 (1.63)	34.24 (0.12)	30.09 (0.88)	18.16 (3.34)	34.51 (1.26)
NDF_DM (% DM)	47.45 (0.60)	33.27 (1.84)	62.04 (0.37)	48.29 (2.18)	27.21 (4.50)	63.08 (1.48)
SS_DM (% DM)	6.70 (0.42)	11.59 (0.23)	NA	6.55 (0.29)	12.78 (1.34)	NA
S_DM (% DM)	1.70 (0.07)	2.64 (0.09)	NA	0.94 (0.05)	1.47 (1.33)	NA

N_DM: Nitrogen in percentage of dry matter, N: Nitrogen, DM: Dry Matter, CP_DM: Crude Protein in percentage of dry matter, ADF_DM: Acid Detergent Fiber in percentage of dry matter, NDF_DM: Neutral Detergent Fiber in percentage of dry matter, SS_DM: Soluble Sugars in percentage of dry matter, S_DM: Starch in percentage of dry matter.

¹. Hay corresponds to the hay provided in the waiting pens adjacent to the testing arena

4. Behavior

The test arena was recorded using an NX Witness Video Management System (Network Optix, Burbank, CA, USA) and three color 4-megapixel cameras with 2.8 mm, f/2 lenses (DS-2CD2342WD-I, Hikvision, Hangzhou, China). One camera was positioned at the side of each feeder, and two positioned at the back and front of the testing arena. Videos were extracted from the system and combined into a single video using Shotcut (Melttech, LLC) software. Interact (Mangold, Germany) was used to code behaviors and goat location as per ethogram (Table 3). Inter-observer variability was tested using five videos and the Cohen's Kappa Index output from Interact ($\kappa = 0.84 \pm 0.07$ between the two observers) to check the consistency of the ethogram. The remaining videos were coded by a single observer. Intra-observer

variability was assessed using 15 videos watched twice (Cohen's Kappa Index as calculated by Interact; $\kappa = 0.79 \pm 0.14$).

5. Statistical analysis

5.1. Data handling

All statistical data handling and analyses were performed with R (version 3.6.1, R Core Team, 2019) using goat as the experimental unit. For each experiment, each goat had two repetitions (10 min each of left- and right-side presentation) of the same combination of feeder position and type of feed. If a goat did not eat at all, the repetition was considered as missing data because no preference could be established, it concerned 11 cases in Exp1 (one in POP/POP, 10 in MIX/MIX), and 11 cases in Exp2 (all in MIX/MIX). Using a Wilcoxon test, it was determined that side of presentation did not significantly affect the choices made, thus for each goat, the two repetitions of the same combination in terms of feeder position and feed type were averaged for feed intake and feeding time. For Exp1, eight goats had averaged data, while six goats did not visit the feeder during one of the two repetitions, therefore they just had one data point, whereas two goats did not eat at all during both repetitions in MIX/MIX. For Exp2, it concerned seven goats (averaged data), five goats (one data point) and four goats (no data in MIX/MIX). This resulted in each of the 16 goats having a data point for four possible feeder positions and feed type combinations (MIX/MIX, POP/POP, POP/MIX and MIX/POP) and each combination being offered in two feeder positions (elevated and floor-level feeder in Exp1; platform-level and floor-level feeder in Exp2). The quantity of fresh feed consumed is expressed in grams of dry matter and the time variables in minutes. For the first feeder visited and the number of feeder changes, a summary was made by considering each repetition for each goat. Normality of distributions as well as homogeneity of the variances were verified by a Shapiro test and a Bartlett permutation test, respectively. For all variables, the conditions were not validated, therefore non-parametric tests were used. Significance was declared at $P < 0.05$, and tendency at $0.05 \leq P < 0.10$. Unless otherwise stated, results are expressed as means \pm standard deviations.

Table 4. Ethogram of behaviors coded during each 10 min presentation of feed consisting in a combination of feed type (Leaves vs Grass) and feeder position (Elevated or platform-level vs floor-level).

Behavior category	Dataset ¹	Description of activities
Standing inactive	NU	All four feet are on the floor, not moving during more than 2 secs. Goat is not engaged in other behavior on this list. Head and tail can move.
Standing on step/platform	NU	Feet at rest on step/platform. Goat does not eat and does not explore the feeder but can do another behavior, during more than 2 secs.
Sniffing	4	Muzzle is close to ground or wall. Goat can move.
Scratching	4	Goat uses a foot in repeat movement against a part of the body or wall or the ground, or its mouth against a part of the body.
Exploring Elevated or Platform-Level Grass or Leaves	2-3-4	Goat explores with muzzle in the elevated or platform-level feeder during more than 2 secs, but the goat does not eat and does not have grass or leaves in mouth.
Exploring Floor-Level Grass or Leaves	2-3-4	Goat explores with muzzle in the floor-level feeder during more than 2 secs, but the goat does not eat and does not have grass or leaves in the mouth.
Exploring step/platform with muzzle	4	Goat explores/nibbles/sniffs the step/platform with its mouth/nose.
Rearing	4	Goat stands with one or both front limbs on wall of arena.
Feeding Elevated or Platform-Level Grass or Leaves	1-2-3	Head in or out of the elevated or platform-level feeder using lips and teeth to manipulate and obtain grass or leaves, including chewing and swallowing. Goat can move.
Feeding Floor-Level Grass or Leaves	1-2-3	Head in or out of the floor-level feeder using lips and teeth to manipulate and obtain grass or leaves, including chewing and swallowing. Goat can move.
Walking	NU	Goat moves at least two of its legs from a standing position, moving forward or backward.
Tail wiggling	5	Goat moves tail side to side in fast movement.
Elimination behavior	NU	Goat urinates or defecates.
Eating on the ground	NU	Goat eats feed that has been spilled on the ground or on the step/platform. Goat can move.

¹. This column indicates in which dataset (presented in the Statistical analysis section) the behavior was included: NU) not used in the analysis, 1) used in the analysis of the feeding time, 2) used in the analysis of the first feeder visited, 3) used to analyze changes between feeder, 4) used to analyze exploration behaviors, and 5) dataset used to analyze tail wiggling.

5.2. Feed intake and feeding time

The quantity of feed eaten, and the time spent feeding were compared between feeder positions and then between feed types with a Mann-Whitney test (characterized by W for unpaired data and V for paired data: the value of the test statistic, and the P-value) for each experiment.

The proportion of feed consumed, and the proportion of time spent consuming feed in the feeder were summarized for each combination of feeder position. In order to determine goat preference for feed, the proportions at the elevated feeder (Exp1) and at the platform-level feeder (Exp2) were compared between the four combination types (MIX/MIX, POP/POP, POP/MIX and MIX/POP) using a non-parametric Kruskal-Wallis test. If the results of the Kruskal-Wallis test (characterized by Kruskal-Wallis chi-squared: the Kruskal-Wallis rank sum statistic, df: degree of freedom of the approximate chi-squared distribution of the test statistic and P-value) were significant, pairwise comparisons were carried out for the different combinations with the Dunn's test (characterized by Z: value for the Z test statistic for each comparison and P-value adjusted with the Holm-Bonferroni method). These proportions were also compared within combinations in a similar manner, in order to determine goat preference for feeder position. Wilcoxon sign tests (characterized by the P-value) were used to compare the percentages to a defined value of 50%, which is the expected result if there is no preference.

5.3. First feeder visited

The first feeder visited (i.e. the first feeder the goat approached during each test, regardless of any feed consumed from it) was recorded for each goat at each repetition. Chi-squared homogeneity tests (characterized by X-squared: the value of the chi-squared test statistic, df: degree of freedom, and P-value) were performed to ascertain if the distributions of the different frequencies for each feeder characteristic (side, position and feed offered) differed significantly from chance (50%).

5.4. *Changes between feeders*

For each goat, and for each repetition, the number of feeder changes (i.e. feeding/exploring at one feeder and switching to the other) was summarized for each feeder position and feed type. A non-parametric Kruskal-Wallis test was performed for the four feeder positions and feed type combinations, followed by a Dunn test for all pairwise combinations.

5.5. *Other behaviors*

Although they were recorded, standing inactive, standing on step, walking, elimination behavior and eating on the ground were not used in the analysis because they did not provide relevant information for the preference study. Durations for sniffing, exploring step/platform, exploring the feeder, scratching, and rearing behaviors were summed together to as "duration of exploration behaviors" for each goat, for each combination of feed type and feeder position and for each repetition. Thus, for each goat, the two repetitions were averaged. The average time spent exploring was compared between the four feeder positions and feed type combinations with a Kruskal-Wallis test followed by a Dunn test for all pairwise. The total number of tail movements for each goat was calculated and summed across repetition, and then compared between the four feeder positions and feed type combinations with a Kruskal-Wallis test.

Results

1. *Feed intake and feeding time*

Regardless of the type of feed offered, goats ate the same quantity of dry matter and spent the same amount of time in the elevated and floor-level feeders in Exp1 (elevated feeder: 101 ± 101 g of DM and 4.1 ± 3.70 min; low-level feeder: 109 ± 114 g of DM and 4.1 ± 4.06 min) and in the platform-level and floor-level feeder in Exp2 (platform-level feeder: 105 ± 111 g of DM and 4.1 ± 3.98 min; low-level feeder: 109 ± 110 g of DM and 4.2 ± 3.95 min).

In both experiments, goats consumed more and spent more time feeding on poplar leaves compared with mixed cut grass (Exp1: POP: 187 ± 85 g of DM and 6.9 ± 2.94 min, MIX: 18 ± 34 g of DM and 1.1 ± 2.09 min, $W = 3696$ and 3594 , $P < 0.001$; Exp2: POP: 190 ± 87 g of DM and 7.1 ± 3.03 min, MIX: 12 ± 23 g of DM and 0.8 ± 1.41 min, $W = 3120$ and 3399 , $P < 0.001$). The quantity of feed eaten, and the time spent feeding in each combination of feeder position and feed type are summarized in **Table 4**.

1.1. Percentage eaten from the elevated feeder between combinations

The percentage of feed eaten from the elevated feeder differed for different combinations of feeder positions and feed type in Exp1 and Exp2 (Kruskal-Wallis chi-squared = 48.4 (Exp1) and 48.7 (Exp2), $df = 3$, $P < 0.001$). When the same feed was offered in both feeders, the quantity of feed eaten from the elevated feeder was higher with mixed cut grass (MIX/MIX) than with leaves (POP/POP) in Exp1 (78.7 ± 29.9 % vs 38.3 ± 23.8 % of total quantity eaten, $Z = -2.28$, $P = 0.049$, **Figure 3A**). For Exp2, there was no difference in the quantity of feed eaten from the elevated feeder between MIX/MIX and POP/POP (51.4 ± 32.2 % vs 42.6 ± 22.5 % of total quantity eaten, **Figure 3B**). When the elevated feeder contained leaves (POP/MIX or POP/POP), the quantity of leaves eaten from the elevated feeder was higher in POP/MIX than in POP/POP in Exp1 and in Exp2 (99.0 ± 2.70 % vs 38.3 ± 23.8 % of total quantity eaten, $Z = -4.03$, $P < 0.001$, **Figure 3A** in Exp1; 99.5 ± 0.69 % vs 42.6 ± 22.5 % of total quantity eaten, $Z = -4.05$, $P < 0.001$, **Figure 3B** in Exp2). In contrast, when the elevated feeder contained mixed cut grass (MIX/MIX or MIX/POP), the quantity of mixed cut grass eaten from this elevated feeder was higher in MIX/MIX than in MIX/POP (78.7 ± 29.9 % vs 0.36 ± 0.74 % of total quantity eaten, $Z = -4.73$, $P < 0.001$, **Figure 3A** in Exp1; 51.4 ± 32.2 % vs 0 % of total quantity eaten; $Z = -3.16$, $P < 0.001$, **Figure 3B** in Exp2).

Table 4. Mean (\pm SD) of the quantity of feed eaten and of the time spent feeding in Exp 1 and Exp 2 by 16 goats (with two repetitions averaged per individual), depending on the combination of feed type and feeder position.

	POP/POP		MIX/MIX		POP/MIX		MIX/POP	
Exp1	Elevated feeder	Low-level feeder	Elevated feeder	Low-level feeder	Elevated feeder	Low-level feeder	Elevated feeder	Low-level feeder
Quantity consumed (g of DM)	101 \pm 68.6	160 \pm 72.0	58 \pm 43.5	16 \pm 29.0	240 \pm 45.3	2 \pm 5.74	1 \pm 1.67	248 \pm 53.6
Time spent feeding (min)	3.6 \pm 2.26	5.9 \pm 2.46	3.8 \pm 2.61	0.9 \pm 1.61	9.0 \pm 1.07	0.1 \pm 0.33	0.03 \pm 0.08	9.1 \pm 1.35
Exp2	Platform-level feeder	Low-level feeder	Platform-level feeder	Low-level feeder	Platform-level feeder	Low-level feeder	Platform-level feeder	Low-level feeder
Quantity consumed (g of DM)	106 \pm 60.2	143 \pm 65.1	32 \pm 30.3	23 \pm 26.2	261 \pm 50.4	1 \pm 1.74	0 \pm 0	249 \pm 52.3
Time spent feeding (min)	4.0 \pm 2.42	5.2 \pm 2.14	2.2 \pm 1.69	1.6 \pm 1.53	9.7 \pm 0.37	0.02 \pm 0.05	0 \pm 0	9.5 \pm 0.81

POP: leaves of poplar, MIX: mixed cut grass. The first feed in the abbreviation combination is the feed in the elevated feeder for Exp 1 (e.g. for POP/MIX, POP is in an elevated feeder and MIX is in a floor-level feeder) and the platform-level feeder for Exp 2.

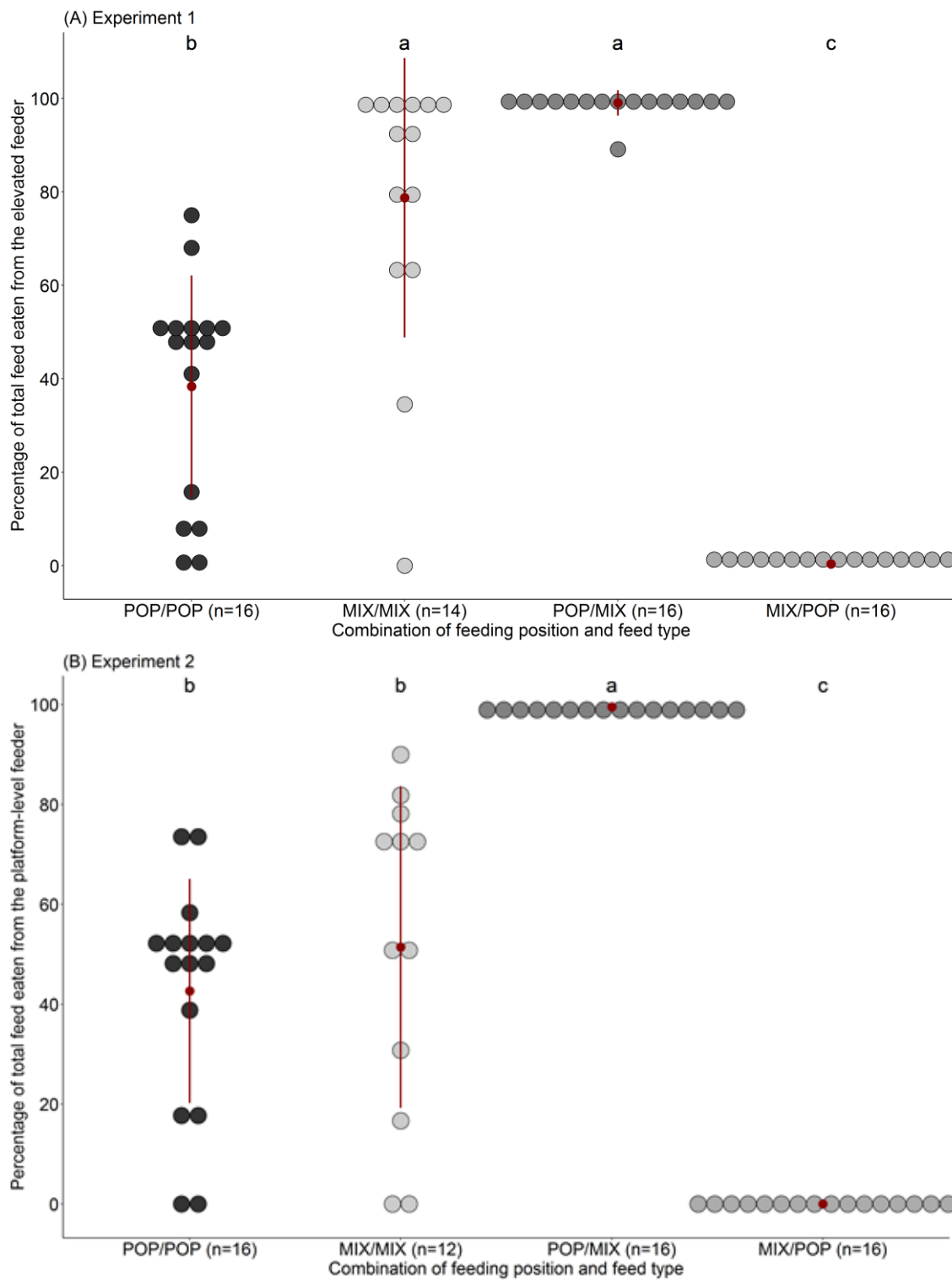


Figure 3. Quantity of feed eaten from the highest of two feeders as a percentage of the total amount of feed eaten per goat ($n=16$, with two repetitions averaged per individual) for A) Exp1 (elevated feeder and floor-level feeder) and B) Exp2 (platform-level feeder and floor-level feeder), depending on the combination of feed type (POP: leaves of poplar MIX: mixed cut grass). Tests where no feed was eaten have been excluded ($n=2$ MIX/MIX Exp1; $n=4$ MIX/MIX Exp2). The first feed in the abbreviation combination is the feed in the highest feeder. The red dot and bars represent the mean and standard deviations of each combination. Significant differences ($P < 0.05$) between the combinations are represented by different letters.

1.2. Percentage eaten from the different feeders within combinations

When leaves and mixed cut grass were presented simultaneously (POP/MIX or MIX/POP), the quantity of leaves ingested was higher than that of mixed cut grass, with 99.0 ± 2.70 % of the total quantity eaten being leaves from the elevated feeder when mixed cut grass was offered in the floor-level feeder (POP/MIX, $P < 0.001$), and 99.6 ± 0.74 % of total quantity eaten being leaves from the floor-level feeder when mixed cut grass was offered in the elevated feeder in Exp1 (MIX/POP, $P < 0.001$), and 99.5 ± 0.69 % (POP/MIX, $P < 0.001$) and 100% of total quantity eaten (MIX/POP, $P < 0.001$) in Exp2. The preference for feeder position varied depending on the type of feed offered. Thus, when leaves were offered in both feeders (POP/POP), goats did not have a preference for feeding from either the elevated feeder or the floor-level feeder (38.3 and 61.7 ± 23.8 % of total quantity eaten respectively in Exp1; 42.6 ± 22.5 and 55.4 ± 23.3 % of total quantity eaten respectively in Exp2). However, when mixed cut grass was offered in both feeders (MIX/MIX), goats ate more from the elevated feeder than from the floor-level feeder in Exp1 (78.7 and 21.3 ± 29.9 % of total quantity eaten respectively, $P = 0.004$), but there was no difference in Exp2 (51.4 and 48.6 ± 32.2 % of total quantity eaten respectively).

1.3. Percentage of the total time spent feeding from the elevated feeder between combinations

The percentage of time spent feeding from an elevated feeder differed for different combination of feeder positions and feed type in Exp1 and Exp 2 (Kruskal-Wallis chi-squared = 47.3 (Exp1) and 47.5 (Exp2), $df = 3$, $P < 0.001$). When the same feed was offered in both feeders (MIX/MIX and POP/POP), the goats tended to spend more time consuming mixed cut grass than leaves from the elevated feeder in Exp1 (77.0 ± 30.6 vs 38.4 ± 24.1 % of the total time spent feeding, respectively; $Z = -2.14$, $P=0.065$, Figure 4A); goats spent the same time consuming leaves and mixed cut grass from the platform-level feeder in Exp2 (42.5 ± 25.4 vs 50.0 ± 29.5 % of the total time spent feeding, respectively, Figure 4B). Conversely,

when different feeds were provided in the two feeders (POP/MIX and MIX/POP), the goats spent more time feeding from the elevated feeder in POP/MIX than in MIX/POP, i.e. when leaves were in the high feeders (Exp1: $Z = 6.52$, $P < 0.001$, 98.7 ± 4.41 vs 0.36 ± 0.80 % of the total time spent feeding, **Figure 4A**; Exp2: $Z = 6.88$, $P < 0.001$, 99.8 ± 0.49 % vs 0 % of the total time spent feeding, **Figure 4B**).

1.4. Percentage of the total time spent feeding from the different feeders within combinations

In Exp1, when both types of feed were offered, the goats spent more time consuming leaves than mixed cut grass, i.e. from the elevated feeder for POP/MIX (98.7 ± 4.41 % of the total time spent feeding, $P < 0.001$) and from the low-level feeder for MIX/POP (99.6 ± 0.80 % of the total time spent feeding, $P < 0.001$). The same preference was found in Exp2 (POP/MIX: platform-level feeder: 99.8 ± 0.49 % of the total time spent feeding, $P < 0.001$; MIX/POP: low-level feeder: 100 % of the total time spent feeding, $P < 0.001$). When only leaves were offered (POP/POP), the goats did not show any preference between the elevated and the low-level feeder in Exp1 (38.4 and 61.6 ± 24.1 % of the total time spent feeding, respectively), but in Exp2, they tended to spend more time feeding from the low-level feeder (61.3 ± 21.0 % of the total time spent feeding) than from the platform-level feeder (42.5 ± 25.4 % of the total time spent feeding, $P=0.077$). When only mixed cut grass was offered (MIX/MIX), more time was spent feeding from the elevated feeder in Exp1 (77.0 ± 30.6 % of the total time spent feeding, $P = 0.021$), while no duration difference was noted in Exp2 (platform-level feeder: 50.0 ± 29.5 of the total time spent feeding).

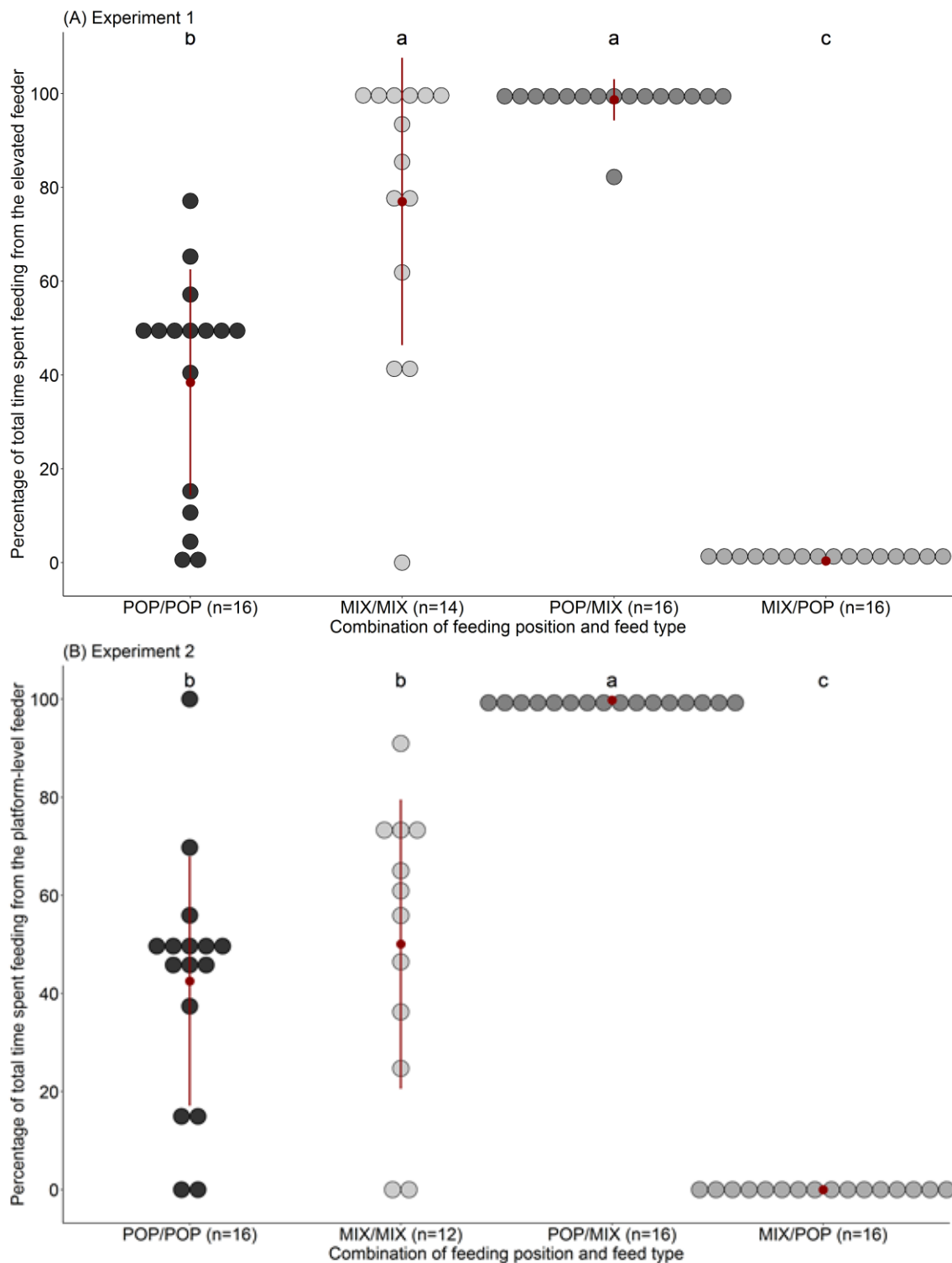


Figure 4. Time spent feeding from the highest of two feeders as a percentage of the total time spent feeding per individual ($N=16$, with two repetitions averaged per individual) for A) Exp1 (elevated feeder and floor-level feeder) and B) Exp2 (platform-level feeder and floor-level feeder), depending on the combination of feed type (POP: leaves of poplar MIX: mixed cut grass). Tests where no food was eaten have been excluded. The first feed in the abbreviation combination is the feed in the highest feeder. The red dot and bars represent the mean and standard deviations of each combination. Significant differences ($P < 0.05$) between the combinations are represented by different letters.

1.5. Variability inter- and intra-individual

There was a high inter-individual variability in the preference for feeder position (**Figures 3A and 3B**). It is noteworthy that there were two goats in Exp1 and four goats in Exp2 that did not consume any feed in MIX/MIX testing (the data were considered as missing).

2. First feeder visited

In Exp1, upon entering the arena and approaching their first feeder, goats did not show a left or right-side preference, regardless of the combinations of feeder position and feed type ($P=0.929$). The goats visited the floor-level feeder first in POP/POP (X-squared = 14.2, $df = 1$, $P < 0.001$), MIX/MIX (X-squared = 6.53, $df = 1$, $P = 0.011$) and MIX/POP (X-squared = 24.5, $df = 1$, $P < 0.001$); there was no first visit feeder preference for POP/MIX.

In Exp2, no side preference was found for any of the combinations of feeder position and feed type ($P=0.103$). The first feeder visited was the floor-level feeder in POP/POP (X-squared = 9.32, $df = 1$, $P = 0.002$) and in MIX/POP (X-squared = 21.1, $df = 1$, $P < 0.001$), but in POP/MIX (X-squared = 4.17, $df = 1$, $P = 0.041$) the platform-level feeder was selected first. In MIX/MIX, no feeder position preference was found.

3. Changes between feeders and other behaviors

Feeder position and feed type combinations affected the number of feeder changes (Table 5). The goats changed feeders more often when only mixed cut grass was offered (MIX/MIX) than in any of the other combinations in Exp1 and Exp2. Similarly, goats explored more when only mixed cut grass was available than when presented with the other combinations except with POP/MIX in Exp1 (**Table 5**). Finally, the number of tail wiggles did not differ among feed type and feeder position combinations in any of the experiments (**Table 5**).

Table 5. Mean (\pm SD) number of feeder changes, duration of exploratory behavior, and number of tail wiggles during the 10 min tests, for 16 goats depending on the combination of feed type and feeder position.

	Exp 1				Kruskal-Wallis	Exp 2				Kruskal-Wallis
	POP/POP	MIX/MIX	POP/MIX	MIX/POP		POP/POP	MIX/MIX	POP/MIX	MIX/POP	
Feeder changes (no.)	0.5 \pm	2.4 \pm	0.6 \pm	0.3 \pm	$\chi^2 = 47.8$, df = 3, P < 0.001	0.6 \pm	2.0 \pm	0.3 \pm	0.3 \pm	$\chi^2 = 42.2$, df = 3, P < 0.001
	0.57 b	1.81 a	0.62 b	0.62 b		1.23 b	1.47 a	0.47 b	0.63 b	
Duration of exploratory behaviors (min)	0.03 \pm	0.9 \pm	0.08 \pm	0.08 \pm	$\chi^2 = 12.4$, df = 3, P < 0.01	0.08 \pm	1.1 \pm	0.03 \pm	0.02 \pm	$\chi^2 = 34.2$, df = 3, P < 0.001
	0.04 b	0.82 a	0.10 ab	0.25 b		0.25 b	0.66 a	0.04 b	0.02 b	
Tail wiggles (no.)	7.0 \pm	5.9 \pm	8.1 \pm	10.7 \pm	$\chi^2 = 2.809$, df = 3, P = 0.42	6.3 \pm	5.6 \pm	6.1 \pm	12.3 \pm	$\chi^2 = 2.0981$, df = 3, P = 0.55
	5.80 a	4.95 a	7.82 a	9.62 a		6.14 a	4.32 a	4.63 a	13.2 a	

For each variable within each experiment, significant differences ($P < 0.05$) between means are represented by different letters. Kruskal-Wallis refer to significant effects of combination of feed type and feeder position.

POP: leaves of poplar, MIX: mixed cut grass. The first feed in the abbreviation combination is the feed in the elevated feeder for Exp1 (e.g. for POP/MIX, POP is in an elevated feeder and MIX is in a floor-level feeder) and the platform-level feeder for Exp2.

Discussion

Goats are known to have a preference for elevation when resting (Zobel et al., 2019) and are often seen browsing on foliage. In our study, we aimed to find out whether browsing was driven by posture during feeding, by feed type (i.e. a preference for browse, such as leaves), or by physically being raised above the ground while feeding. The last factor was included because a slightly raised grazing position may be more easily adopted in practice but also to explore if an aspect of overall elevation comes into play in goat preferences.

We found that goats preferred poplar leaves compared to mixed cut grass in terms of quantity consumed and time spent consuming. This result is likely to be due to leaves containing less fiber (NDF and ADF), more soluble sugars and more starch than grass; this translates into better digestibility, a better source of energy and a less filling effect in the rumen compared to grass (Hadjigeorgiou et al., 2003; Bakshi and Wadhwa, 2004; Rapetti and Bava, 2007; Baraza et al., 2009). As the goats were unlikely to be hungry at the time of testing, the need to meet nutritional requirements would not be the only explanation for this preference for leaves. This assumption is supported by the finding that in several cases goats did not eat at all, and this was mainly when only mixed cut grass was offered. The preference for poplar may therefore be a difference in palatability of the two (Baumont, 1996). For instance, satiated sheep ingested a substantial meal when a newly offered forage was sufficiently palatable (Baumont et al., 1990) depending on the forage itself, but also on what the animals were eating previously and their state of hunger. It can therefore be assumed that poplar leaves were more palatable than mixed cut grass for goats. Leaves were also a novel feed for the goats used in this study. This preference for leaves, as well as goats' natural ability to browse, may have animal welfare implications for current feeding systems; for instance, in New Zealand most feeding regimes consist of freshly mowed, "cut and carried" grass (Murney et al., 2019). Indeed, even if an abundant, and on average nutritious, diet is given to the herd, it is not necessarily sufficient to foster the welfare of all the individuals. Goats may be better able to meet their individual nutrient needs when a variety of feeds are provided rather than when being offered only a single feed for all animals, even if it is nutritionally balanced (Manteca et al., 2008). Moreover, a lack, excess or imbalance of

nutrients can be detrimental (Provenza, 1995; Provenza et al., 2003). Therefore, we suggest that from both a preferential and a physiological perspective, the ability to choose from a variety of feeds is important for goat welfare.

When offering mixed cut grass (a feed that would normally be associated with a grazing position) in both feeders in our first experiment (MIX/MIX), the goats preferred to feed from the elevated feeder. This result is consistent with that reported by Neave et al. (2018), and the mixed cut grass used in our study was similar to the silage used in their study in terms of ADF, NDF and CP values. Conversely, in our second experiment when grass was offered in both the grazing-level feeder and one that promoted the same posture yet was off the ground, the goats did not show a preference. This suggests that the motivation to feed from an elevated feeder does not depend on being raised off the ground, but on the feeding posture with the head held upwards; nonetheless, this preference is not as clear when a browse feed (e.g. tree leaves) is considered. When only leaves were offered in both feeders (POP/POP), the goats did not show any preference for feeder positions; there was no difference in time spent feeding from the elevated feeder, the platform-level feeder or the low-level feeder. In the wild, goats are opportunistic (Lu, 1988) and will feed at any height within their reach depending on the availability of feed. This opportunism, together with the finding that the leaves appear to be very palatable to goats, may explain why we did not find a feeder position preference when only leaves were offered. Dziba et al. (2003) also did not report any differential preferences for the feeding heights offered in their study, either for Nguni or Boer goats. They suggested this lack of preference stemmed from presenting the leaves and branches using a fixed board; this device provided a certain stability and balance that goats may not have under normal foraging conditions, especially when standing on their hind legs. In the feeders used in our study, the browsing position was mimicked by requiring the goats to place their front legs onto a step, which also provided stability and balance. Conversely, Kouch et al. (2003) used a device in which the goats could not be supported with their front legs. They showed that goats consumed more dry matter and with a higher feeding rate when foliage was offered hanging from the roof of a cage than when leaves were offered separately in a trough; furthermore, time spent feeding was shorter when foliage was suspended. A bias due to device differences may thus explain study differences.

However, unlike Kouch et al. (2003), where only one method of leaves presentation was used per test, the device of Dziba et al. (2003), as well as our feeder offered the different heights of leaves presentation at the same time for each goat, so they had the possibility to distribute their consumption over all the heights presented.

When they entered the testing pen, goats most often visited the low-level feeder first. Goats are likely to use visual and olfactory cues to detect subtle differences between feeds and make feed choices (Villalba and Provenza, 2000; Favreau-Peigné et al., 2013). Indeed, goats, like sheep, are capable of distinguishing colors and shades of gray (Buchenauer and Fritsch, 1980), with a visual field about 270° and a binocular field being about 45° (Blakeman and Friend, 1986). Laboratory experiments have shown that goats possess numerous cognitive capacities (see review: Zobel and Nawroth, 2020), including the ability to categorize feed items. When approaching the feeders, the goats could see and smell the content of each feeder, and probably discriminate between grass and leaves. In view of the goats' preference for leaves, it was therefore not surprising that the feeder containing leaves would be visited first (i.e. the low-level feeder in MIX/POP); however, the goats also approached MIX/MIX and POP/POP low-level feeder first. To explain this, it is important to consider design; our low-level feeder was the closest to eye level; when entering the pen, they could clearly see this opening without looking up. Furthermore, while we are not suggesting goats were calculating which option would be lower energy, Dziba et al. (2003) suggested that feeding at high levels may lead to higher energy costs due to the necessary posture, as well as more need for vigilance due to the increased vulnerability of the goat in the bipedal position. Therefore, the goats could simply be checking the easiest feeder option first. When leaves were presented in the elevated feeder and mixed cut grass in the low-level feeder (POP/MIX), no first visit preference was evident. This may reflect a balance between the choice of the most palatable feed (leaves) with decreased accessibility (elevated feeder) and the least palatable feed (mixed cut grass) with increased accessibility (low-level feeder). In order to study this type of balance, Ginane et al. (2002) gave heifers the choice of either ingesting poor quality forage ad libitum directly at the entrance or having to walk through the testing area to be rewarded with good quality, but limited quantity of forage. If heifers chose the good quality forage and consumed it, a mechanism changed the position of the different

forages and the heifer now had the choice of eating poor forage ad libitum at the same place or returning to the entrance to eat a limited amount of good quality forage. The authors found that the heifers crossed the arena to consume the good quality forage, but once it was consumed, they preferred to consume the lower quality (but more accessible) forage rather than to return to the entrance to consume the higher quality forage.

In our second experiment, the same feeding posture was used (grazing) so there were no differences in energy costs, although accessibility for the platform-level feeder did require slightly more effort. The first feeder visited was the one containing leaves (i.e. MIX/POP and POP/MIX; the low-level feeder and the platform-level feeder, respectively). When only leaves were offered (POP/POP), again the low-level feeder was preferred for the first visit, potentially because it was the closest to the eye level, as suggested earlier. Nonetheless, the position of the first feeder visited did not reflect the preferred feeder position in terms of quantities eaten and time spent feeding from the feeder, contrary to what [Haschick and Kerley \(1996\)](#) suggested. Indeed, when only leaves were presented (POP/POP) in the first experiment, the first feeder visited was typically the low-level feeder, however, overall there was no preference for feeder when considering total feed consumption. Interestingly, when only mixed cut grass was presented (MIX/MIX), the goats visited the low-level feeder first, yet their overall consumption was greater from the elevated feeder. This difference between the first feeder visited and the preferred feeder position in terms of consumption is supported by the number of feeder changes and the longer duration of exploratory behaviors when only mixed cut grass was offered. The exploration, especially of feeders, and the numerous changes in feeders, could reflect an attempt to find either another preferred feed source, or another feeder position. The search for another feed is supported by the finding that some goats did not feed at all; of all 22 instances of non-consumption, all but one was when only grass was presented. Moreover, [Huzzey et al. \(2013\)](#) found that heifers fed a diet with lower energy density compared to that of a previous period, showed an increase in the number of feeding station changes. The authors indicated that these behavioral changes may reflect the expectation of better-quality feed at another feeding station. Conversely, when the feed had a higher energy density than previously received, the number of feeding station changes was reduced, suggesting that the heifers were content

with maintaining consumption of the better feed.

There was a large inter-individual variability in feeder position preferences; we suggest individual goat personality could be a contributing component to this variation. Indeed, it has been shown that different goat personality types have an impact on feeding behavior and especially on feeding duration (Neave and Zobel, 2020); in some cases, these differences were linked to how the feed is presented. Large inter-individual variability underlines the importance of providing multiple options in terms of feeder position (and intrinsically feeding posture), and in feed type, to allow goats to make choices. The lack of dietary flexibility, whether in terms of what goats eat or how they eat, could affect their welfare by altering their time budget and limiting the expression of their cognitive abilities, such as those required when exploring the food environment. A recently suggested option to increase this flexibility, would be the provision of automated feeding units; Zobel and Nawroth (2020) describe task-based access to creep feeder as a means of promoting natural foraging behavior, and to provide a form of cognitive enrichment.

In conclusion, our study showed that preference for feeding from an elevated position depended on the combination of feeder position and feed type. Moreover, the first feeder visited was not the preferred feeder in terms of quantity consumed and time spent feeding from the feeder. Leaves were highly preferred over mixed cut grass by all goats. When goats were confronted with only one, less palatable feed choice (mixed cut grass), they explored more and changed feeders more, indicating a search for another feed source. There was a large inter-individual variability in terms of feeder position preference. This variability could be exploited if different types of feeders were installed for groups of goats; doing so would allow individuals to feed in different postures and express their natural feeding behavior, ultimately contributing to better welfare.

Conflict of Interest Statement

The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Author Contributions

MC: made substantial contributions to data acquisition, analysis, and interpretation, drafted, and revised the work, and wrote the final version. BLN and CDP: made substantial contributions to data analysis and interpretation and revised the work. HBRF: made substantial contributions to conception of the work, data acquisition and revised the work. BM and KC: made substantial contributions to conception of the work. EO'C: made substantial contributions to data collection. GZ: made substantial contribution to conception of the work, data analysis and interpretation and revised the work.

Funding

The work was funded by AgResearch Strategic Science Investment Fund (contract C10X1702 with the Ministry of Business Innovation and Employment). Marjorie Cellier was supported by the doctoral school ABIES through joint finances from Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation and INRAE (Institut national de la recherche agronomique), the latter acting as her employer.

Acknowledgments

The study would not be possible without the dedicated goat care of Trevor Watson. Facility setup was made possible by the skilled work of Ian Moon and his team.

References

- Aldezabal, A., and Garin, I. (2000). Browsing preference of feral goats (*Capra hircus* L.) in a Mediterranean mountain scrubland. *J. Arid Environ.* 44, 133–142. doi:10.1006/jare.1999.0573.
- ANSES (2018). Avis de l'agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif au "Bien-être animal : contexte, définition et évaluation."
- Aschwanden, J., Gygax, L., Wechsler, B., and Keil, N. M. (2009). Structural modifications at the feeding place: Effects of partitions and platforms on feeding and social behaviour of goats. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 119, 180–192. doi:10.1016/j.applanim.2009.04.004.
- Bakshi, M. P. S., and Wadhwa, M. (2004). Evaluation of forest tree leaves of semi-hilly arid region as livestock feed. *Asian-Australasian J. Anim. Sci.* 17, 777–783. doi:10.5713/ajas.2004.777.
- Baraza, E., Hódar, J. A., and Zamora, R. (2009). Consequences of plant-chemical diversity for domestic goat food preference in Mediterranean forests. *Acta Oecologica* 35, 117–127. doi:10.1016/j.actao.2008.09.001.
- Baumont, R. (1996). Palatabilité et comportement alimentaire chez les ruminants. *INRA Prod. Anim. Anim.* 9, 349–358.
- Baumont, R., Segulier, N., and Dulphy, J. P. (1990). Rumen fill, forage palatability and alimentary behaviour in sheep. *J. Agric. Sci.* 3, 277–284. doi:https://doi.org/10.1017/S0021859600075249.
- Beauchamp, G. (2015). *Animal vigilance: monitoring predators and competitors.*, ed. A. Press doi:10.1016/B978-0-12-801983-2/00011-5.
- Beaver, A., Ritter, C., and von Keyserlingk, M. A. G. (2019). The dairy cattle housing dilemma: natural behavior versus animal care. *Vet. Clin. Food Anim. Pract.* 35, 11–27. doi:10.1016/j.cvfa.2018.11.001.
- Blakeman, N. E., and Friend, T. H. (1986). Visual discrimination at varying distances in spanish goats. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 16, 279–283. doi:10.1016/0168-1591(86)90120-6.
- Bracke, M. B. M., and Hopster, H. (2006). Assessing the importance of natural behavior for animal welfare. *J. Agric. Environ. Ethics*, 77–89. doi:10.1007/s10806-005-4493-7.
- Buchenauer, von D., and Fritsch, B. (1980). Zum Farbsehvermögen von Hausziegen (*Capra hircus* L.). *Z. Tierpsychol* 53, 225–230.
- Dziba, L. E., Scogings, P. F., Gordon, I. J., and Raats, J. G. (2003). The feeding height preferences of two goat breeds fed *Grewia occidentalis* L. (Tiliaceae) in the Eastern Cape, South Africa. *Small Rumin. Res.* 47, 31–38. doi:10.1016/S0921-4488(02)00234-1.

- El Aich, A., El Assouli, N., Fathi, A., Morand-Fehr, P., and Bourbouze, A. (2007). Ingestive behavior of goats grazing in the Southwestern Argan (*Argania spinosa*) forest of Morocco. *Small Rumin. Res.*, 248–256. doi:10.1016/j.smallrumres.2006.03.011.
- Favreau-Peigné, A., Baumont, R., and Ginane, C. (2013). Les rôles des caractéristiques sensorielles des aliments dans le comportement alimentaire des ruminants domestiques. *Prod. Anim.* 26, 25–34.
- Ginane, C., Dumont, B., and Petit, M. (2002). Short-term choices of cattle vary with relative quality and accessibility of two hays according to an energy gain maximisation hypothesis. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 75, 269–279. doi:10.1016/S0168-1591(01)00204-0.
- Goetsch, A. L., Gipson, T. A., Askar, A. R., and Puchala, R. (2010). Invited review: Feeding behavior of goats. *J. Anim. Sci.* 88, 361–373. doi:10.2527/jas.2009-2332.
- Hadjigeorgiou, I. E., Gordon, I. J., and Milne, J. A. (2003). Comparative preference by sheep and goats for Graminaeae forages varying in chemical composition. *Small Rumin. Res.* 49, 147–156. doi:10.1016/S0921-4488(03)00094-4.
- Haschick, S. L., and Kerley, G. I. H. (1996). Experimentally determined foraging heights of buschbuck *Tragelaphus scriptus* and boergoats *Capra hircus*. *South African J. Wildl. Res.* 26, 64–65.
- Huzzey, J. M., Fregonesi, J. A., von Keyserlingk, M. A. G., and Weary, D. M. (2013). Sampling behavior of dairy cattle: Effects of variation in dietary energy density on behavior at the feed bunk. *J. Dairy Sci.* 96, 247–256. doi:10.3168/jds.2012-5796.
- Keil, N. M., Pommereau, M., Patt, A., Wechsler, B., and Gygax, L. (2017). Determining suitable dimensions for dairy goat feeding places by evaluating body posture and feeding reach. *J. Dairy Sci.* 100, 1–10. doi:10.3168/jds.2016-10980.
- Kirkden, R. D., and Pajor, E. A. (2006). Using preference, motivation and aversion tests to ask scientific questions about animals' feelings. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 100, 29–47. doi:10.1016/j.applanim.2006.04.009.
- Kouch, T., Preston, T. R., and Ly, J. (2003). Studies on utilization of trees and shrubs as the sole feedstuff by growing goats; foliage preferences and nutrient utilization. *Livest. Res. Rural Dev.* 15, 17–37.
- Loretz, C., Wechsler, B., Hauser, R., and Rüschi, P. (2004). A comparison of space requirements of horned and hornless goats at the feed barrier and in the lying area. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 87, 275–283. doi:10.1016/j.applanim.2004.01.005.
- Lu, C. D. (1988). Grazing Behavior and Diet Selection of Goats. *Small Rumin. Res.* 1, 205–216. doi:https://doi.org/10.1016/0921-4488(88)90049-1.
- Manteca, X., Villalba, J. J., Atwood, S. B., Dziba, L., and Provenza, F. D. (2008). Is dietary choice important to animal welfare? *J. Vet. Behav. Clin. Appl. Res.* 3, 229–239.

doi:10.1016/j.jveb.2008.05.005.

Murney, R., Burggraaf, V., Mapp, N., Ganche, E., and King, W. (2019). The effect of cultivated mixed-species green fodder on intake, milk production and milk composition of housed dairy goats. *Animal*, 1–9. doi:10.1017/S1751731119000867.

Neave, H. W., von Keyserlingk, M. A. G., Weary, D. M., and Zobel, G. (2018). Feed intake and behavior of dairy goats when offered an elevated feed bunk. *J. Dairy Sci.* 101, 3303–3310. doi:10.3168/jds.2017-13934.

Neave, H. W., and Zobel, G. (2020). Personality of dairy goats affects competitive feeding behaviour at different feeder heights. *Small Rumin. Res.* 192, 106222. doi:10.1016/j.smallrumres.2020.106222.

Nordmann, E., Barth, K., Futschik, A., Palme, R., and Waiblinger, S. (2015). Head partitions at the feed barrier affect behaviour of goats. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 167, 9–19. doi:10.1016/j.applanim.2015.03.011.

Provenza, F. D. (1995). Postingestive feedback as an elementary determinant of food preference and intake in ruminants. *J. Range Manag.* 48, 2–17. doi:10.2307/4002498.

Provenza, F. D., Villalba, J. J., Dziba, L. E., Atwood, S. B., and Banner, R. E. (2003). Linking herbivore experience, varied diets, and plant biochemical diversity. *Small Rumin. Res.* 49, 257–274. doi:10.1016/S0921-4488(03)00143-3.

Rapetti, L., and Bava, L. (2007). Feeding management of dairy goats in intensive systems. *Dairy Goats, Feed. Nutr.*, 221–237. doi:10.1079/9781845933487.0221.

Redbo, I., and Nordblad, A. (1997). Stereotypies in heifers are affected by feeding regime. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 53, 193–202. doi:10.1016/S0168-1591(96)01145-8.

Rubino, R., Pizzillo, M., Claps, S., and Boyazoglu, J. (2011). "Goats," in *Encyclopedia of dairy sciences*. Fuquay J., P. Fox, and P. McSweeney.

Sanon, H. O., Kaboré-Zoungrana, C., and Ledin, I. (2007). Behaviour of goats, sheep and cattle and their selection of browse species on natural pasture in a Sahelian area. *Small Rumin. Res.* 67, 64–74. doi:10.1016/j.smallrumres.2005.09.025.

Shi, J., Dunbar, R. I. M., Buckland, D., and Miller, D. (2003). Daytime activity budgets of feral goats (*Capra hircus*) on the Isle of Rum: Influence of season, age, and sex. *Can. J. Zool.* 81, 803–815. doi:10.1139/z03-055.

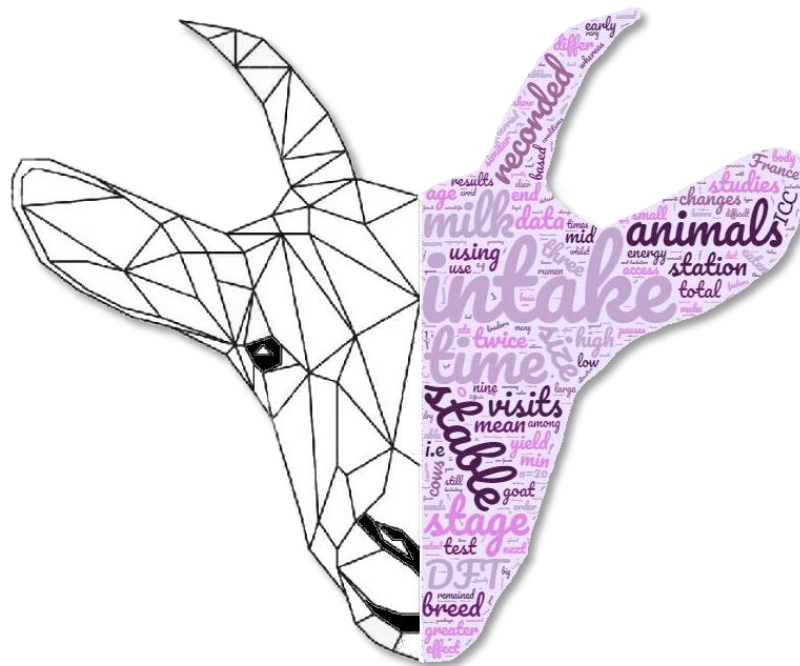
Špinka, M. (2006). How important is natural behaviour in animal farming systems? *Appl. Anim. Behav. Sci.* 100, 117–128. doi:10.1016/j.applanim.2006.04.006.

Van, D. T. T., Mui, N. T., and Ledin, I. (2005). Tropical foliages: Effect of presentation method and species on intake by goats. *Anim. Feed Sci. Technol.* 118, 1–17. doi:10.1016/j.anifeedsci.2004.10.016.

- Villalba, J. J., and Provenza, F. D. (2000). Roles of flavor and reward intensities in acquisition and generalization of food preferences: Do strong plant signals always deter herbivory? *J. Chem. Ecol.* 26, 1911–1922. doi:10.1023/A:1005552925338.
- Yeates, J. (2018). Naturalness and animal welfare. *Animals* 8. doi:10.3390/ani8040053.
- Zobel, G., Leslie, K., Weary, D. M., and Von Keyserlingk, M. A. G. (2015). Ketonemia in dairy goats: Effect of dry period length and effect on lying behavior. *J. Dairy Sci.* 98, 6128–6138. doi:10.3168/jds.2014-9136.
- Zobel, G., and Nawroth, C. (2020). Current state of knowledge on the cognitive capacities of goats and its potential to inform species-specific enrichment. *Small Rumin. Res.* 192, 106208. doi:10.1016/j.smallrumres.2020.106208.
- Zobel, G., Neave, H. W., and Webster, J. (2019). Understanding natural behavior to improve dairy goat (*Capra hircus*) management systems. *Transl. Anim. Sci.* 3, 212–224. doi:10.1093/tas/txy145

CHAPITRE 4.

Étude de la variabilité inter- et intra-individuelle du comportement alimentaire des chèvres laitières



Cet article a été publié dans le journal *Applied Animal Behaviour Science*.

Résumé

L'émergence de l'élevage de précision et en particulier les capacités croissantes à enregistrer automatiquement les paramètres de comportement et de production permettent de suivre le comportement alimentaire de chaque individu dans le temps. Les objectifs de cette étude, qui fait état de certaines des premières quantifications des variables du comportement alimentaire individuel chez des chèvres laitières hébergées en groupes, étaient de caractériser la variabilité inter- et intra-individuelle du comportement alimentaire de deux races de chèvres laitières, d'évaluer la stabilité de leur comportement alimentaire entre deux stades physiologiques (lactation, gestation+lactation) et d'évaluer l'impact du stade de lactation (pas de production de lait, milieu de lactation, fin de lactation) et de la race sur leur comportement alimentaire.

Le comportement alimentaire de 16 chèvres non lactantes, de 32 chèvres au milieu de leur première lactation et de 24 chèvres à la fin de leur première lactation, de deux races (alpine et Saanen) a été enregistré pendant neuf, dix et six jours respectivement. Les chèvres étaient hébergées en groupes de quatre individus et chacune avait accès à sa propre station d'alimentation. Une station d'alimentation était composée d'une mangeoire posée sur une balance qui enregistrerait son poids toutes les deux secondes, ainsi que d'une antenne réceptrice pour reconnaître l'identification RFID des animaux. Les chèvres recevaient toutes la même ration complète *ad libitum*. Un critère de repas de 8 minutes, c'est-à-dire la durée maximale de pause pouvant être considérée comme faisant partie du repas, a été calculé d'après la méthode proposée par Tolkamp et al. (1998). Après avoir fusionné les visites en repas grâce à ce critère, six variables du comportement alimentaire ont été calculées pour chaque individu : le nombre de repas journaliers, la taille, la durée et la vitesse d'ingestion de ces repas, ainsi que la durée journalière d'ingestion et la quantité journalière consommée. Une attention particulière a été portée sur le premier repas suivant une distribution d'aliment frais. La variabilité inter- et intra-individuelle des variables du comportement alimentaire a été étudiée. La stabilité du comportement alimentaire entre les stades physiologiques a également été investiguée. Enfin, les effets sur les variables du comportement alimentaire de la race et du stade de lactation ont été examinés.

Notre étude a permis de mettre en évidence la présence d'une forte variabilité inter-individuelle et d'une faible variabilité intra-individuelle pour les variables suivantes : quantité journalière ingérée, nombre et taille des repas journaliers. Ces variables étaient normalement distribuées, et les petits repas étaient liés à une fréquence de repas plus élevée et vice versa. La taille du premier repas après une distribution d'aliments, en plus d'être positivement corrélée à la quantité journalière ingérée, semblait différer plus entre les individus que chez un individu donné. Le premier repas pourrait potentiellement être utilisé pour caractériser les individus, alors que les variables du comportement alimentaire relatives à la durée, c'est-à-dire la durée d'ingestion d'un repas ainsi que la durée journalière d'ingestion, semblent moins utiles pour caractériser la variabilité. Ces variables étant calculées grâce au critère de repas, on peut suspecter une influence de ce critère plus importante sur les variables relatives au temps que sur les autres variables. Notre étude a également permis de confirmer une bonne stabilité du comportement alimentaire entre les stades physiologiques étudiés. Cette stabilité pourrait permettre de caractériser précocement les individus afin de pouvoir sélectionner ceux qui seraient le plus adaptés aux conditions d'élevage. Enfin, nous avons montré que le stade de lactation, contrairement à la race, était un facteur qui influençait le comportement alimentaire.

En conclusion, il n'est pas encore bien compris pourquoi un individu dans un troupeau donné va différer en termes de comportement alimentaire par rapport à d'autres individus du même troupeau, et pourquoi ces différences semblent relativement stables, à la fois sur le court et sur le long terme (du jour au stade physiologique). La présence d'une variabilité interroge sur la flexibilité des différents profils observés dans des environnements changeants comme les élevages, et sur les capacités d'adaptation des individus. La caractérisation des individus sur la base de leur comportement alimentaire pourrait potentiellement être utilisée pour affiner la gestion individuelle du troupeau et être utilisée pour la prévention des maladies ou encore comme un trait pour la sélection génétique.

Inter- and intra-individual variability of feeding behaviour in group housed dairy goats

Marjorie Cellier^a, Christine Duvaux-Ponter^{a*}, Birte L. Nielsen^a

^aUniversité Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech, UMR Modélisation Systémique Appliquée aux Ruminants, 75005, Paris, France.

*** Correspondence:**

Corresponding Author

Tel.: +33 1 44 08 18 10.

E-mail address: christine.duvaux-ponter@agroparistech.fr

Full address: UMR Modélisation Systémique Appliquée aux Ruminants, AgroParisTech, 16 rue Claude Bernard, 75231 Paris Cedex 05, France

Keywords: Feeding behaviour; Variability; Dairy goats; Stage of lactation.

Journal: *Applied Animal Behaviour Science.*

Impact factor: 2.187

doi: 10.1016/j.applanim.2020.105167

Abstract

The emergence of precision livestock farming (PLF), and with it the increasing capacity to record behaviour and production parameters automatically, makes it possible to monitor feeding behaviour of individual animals over time. This study reports some of the first quantifications of feeding behaviour variables for individual dairy goats whilst group housed. The feeding behaviour of 16 non-lactating goats (NoLact), 32 goats in the middle of their first lactation (MidLact) and 24 goats (including 20 goats from MidLact) at the end of their first lactation (EndLact) from two breeds (Alpine and Saanen) was recorded. The goats were housed in groups of four individuals and each had access to one weight-monitored feeding station where they received a total mixed ration *ad libitum* twice a day. Following a habituation period, feeding behaviour was measured for nine days (NoLact), 10 days (MidLact) and six days (EndLact). After merging feeder visits into meals (≥ 8 -min inter-meal-interval), six variables were calculated for each individual: meal frequency (number of daily meals, NDM), size (feed intake per meal, FIM) and duration (DUM), as well as feeding rate (FR), daily feeding time (DFT) and daily feed intake (DFI). The inter- and intra-individual variabilities of these six variables were investigated and the intra-class correlation coefficients calculated. Particular attention was paid to the first meal following feed distribution and to the stability of individual feeding behaviour between lactation stages. Effects of body weight, breed, and stage of lactation on the six feeding behaviour variables were analysed using a general linear model. Our study confirmed previous findings from individually housed dairy goats that feeding behaviour variables are relatively stable within an individual but show greater variability between individuals. Although there were differences between the lactation stages studied, the feeding behaviour of individuals tested in two lactation stages (mid- and end of lactation) remained relatively stable. The feeding behaviour variables were normally distributed, and smaller meals were linked with a higher meal frequency and vice versa. The first meal after a feed distribution, in addition to being positively correlated with the DFI, appeared to be stable in size for individual goats with a larger variability among individuals and could potentially be used to characterize the individuals, whereas time-related feeding behaviour variables appeared less useful for this

purpose. Characterization of individuals based on their feeding behaviour can potentially be used to refine individual management for disease prevention or as a trait used in genetic selection.

Introduction

The advent of precision livestock farming (PLF), and in particular the increasing capacity to record behaviour and production parameters automatically, makes it possible to monitor detailed changes in the behaviour of farmed animals. Although only some farms are currently able to benefit from the more advanced PLF technology, it is a promising tool which can also help to increase our knowledge on livestock behaviour. The use of automated monitoring could replace visual observations in scientific studies because this method is less time-consuming, requires less work, allows information to be obtained in the field in real time, and thus, in some cases, early identification of vulnerable or at-risk individuals, facilitating their treatment. In the case of feeding behaviour studies, using data from automated sensors, [Thorup et al. \(2016\)](#) showed that lameness affects the feeding behaviour of dairy cows, with lame cows being characterized by fewer visits to feeding stations, higher feeding rate, less time spent feeding and more inter-individual variation in feeding behaviour. In goats, [Desnoyers et al. \(2011\)](#) demonstrated a link between longer, less frequent meals and low rumen pH, indicating an increased risk of rumen acidosis. Overall, the use of PLF could therefore allow the characterization of feeding behaviour for targeted individual management or disease prevention.

Individual variability of feeding behaviour is high. For example, [Melin et al. \(2005\)](#) showed that 84 to 98% of the variability in feeding behaviour patterns can be attributed to individual differences between dairy cows. Several studies have thus shown a high variability between individuals for the frequency of meals or the time spent feeding per day ([Schwartzkopf-Genswein et al., 2002](#); [DeVries et al., 2003b](#)). In goats, [Giger-Reverdin et al. \(2012\)](#) found that individual goats were distributed on a continuum ranging from so-called “nibblers”, i.e. individuals that feed in often small meals, to so-called “big loaders” that feed less frequently but in larger meals each time. In addition to evidence of inter-individual variability, [Melin et al. \(2005\)](#) showed that, in cows, feeding behaviour patterns also remained relatively constant over time. This is not to say that the behaviour is inflexible, but that when the environment is relatively stable, feeding behaviour remains the same for each individual.

Individual stability of feeding behaviour over time would allow early selection of the most adaptable animals to specific husbandry conditions.

Although it is known that feeding behaviour can be influenced by parameters characterizing the animal (e.g. age, weight and physiological stage) and by the level and efficiency of production (e.g. body weight gain for growing animals or milk yield for dairy animals; [Albright, 1993](#); [Forbes, 2007](#)), it is still not well understood why individuals within a herd differ in their feeding behaviour, why these differences are relatively stable over time and how these differences can vary with changes in the individuals' environment. In indoor farming systems, animals often undergo changes in their social groups, in the space available for each individual and in their diet. For example, the timing and frequency of feed delivery are characteristics that can affect the feeding behaviour of cattle ([von Keyserlingk and Weary, 2010](#)). In addition, ruminants are known to make trade-offs for the choice of diets that match the requirements of their internal condition, such as hunger, and stage of gestation or lactation ([Forbes, 2007](#)). Nevertheless, few studies have investigated the influence of the stage of lactation on feeding behaviour. In ruminants, feed intake is dependent on both physical constraints (rumen size) and physiological constraints (metabolic/energy needs). During early lactation, the demand for nutrients and energy for milk synthesis is very high and females need to feed as much as possible while at the same time mobilizing body reserves. The demand for nutrients and energy will therefore be high, which will affect feeding behaviour. For example, [DeVries et al. \(2003b\)](#) measured the feeding behaviour of the same group of cows at three different periods between 35 ± 16 and 94 ± 16 days in milk and showed changes in their feeding behaviour such as an increase in total daily feeding time, meal frequency and meal duration between the first and second period studied, reflecting the increase in daily feed intake from early to peak lactation. Another factor that could influence feeding behaviour would be the breed: differences in feeding behaviour have been found between breeds of cattle ([Senn et al., 1995](#); [Schwartzkopf-Genswein et al., 2003](#)), but there are very few studies on such breed effects in goats. Finally, a large part of the studies on feeding behaviour of goats have been carried out in individual pens ([Abijaoudé et al., 2000](#); [Desnoyers et al., 2011](#)). However, goats are social animals ([Miranda](#)

de la Lama and Mattiello, 2010), and we know from studies in pigs that feeding behaviour differs greatly between group and single housed animals (De Haer and Merks, 1992), but that differences among pigs in a group are relatively stable, also when subsequently measured when individually housed (Nielsen et al., 1996).

Dairy goats are an important part of milk production systems in many countries and there is a paucity of information on their feeding behaviour. Two breeds, Alpine and Saanen, are commonly used in France, representing 55% and 42% of the French national herds, respectively (France Génétique Elevage, 2014). The present study provides some of the first quantifications of feeding behaviour variables for individual dairy goats whilst group housed. The aims of this study were 1) to characterize the inter- and intra-individual variability in feeding behaviour of two breeds of dairy goats; 2) to evaluate the stability of their feeding behaviour between two lactation stages; 3) to evaluate the impact of producing milk on their feeding behaviour. As Saanen goats are heavier than Alpine goats, it was expected that their feeding behaviour would be different, notably that their daily intake would be higher. It was also expected that the inter-individual variability would be greater than intra-individual variability and that individuals would be distributed within a normal distribution of feeding patterns. It was assumed that intake would be highest in goats in mid-lactation when the nutritional needs are greater than in end-lactation and lowest in non-lactating goats. We wanted to investigate, if these differences gave rise to corresponding (and consistent) differences in feeding patterns.

Materials and methods

The study was carried out in 2018 at the INRA experimental farm at Thiverval-Grignon, France in accordance with French legislation on animal experimentation and European legislation on the protection of animals used for scientific purposes (EU Directive 2010/63). All experimental procedures were approved by the Animal Welfare Advisory Board of the

research unit and by the local Animal Ethics Committee (N°045) under the DAP number 18-06.

1. Animals, Design, and Feeding

The feeding behaviour of two breeds of dairy goats (Alpine and Saanen) was characterized in three experimental periods according to their stage of lactation:

- 16 goats born in 2018 (eight Alpine goats, eight Saanen goats) at the middle of their first gestation and therefore non-lactating (NoLact);
- 32 goats born in 2017 (20 Alpine goats, 12 Saanen goats) in the middle of their first lactation (MidLact);
- 24 goats also born in 2017 (12 Alpine goats, 12 Saanen goats, including 20 goats already tested in MidLact), at the end of their first lactation and the middle of their second gestation (EndLact); two goats were replaced due to illness and adaptation problems.

In each experimental period, the goats were assigned to groups of four individuals with one to two Saanen in each group, balanced for age, body weight (BW) at the start of the experimental period and – when occurring – milk production (MP). For the EndLact trial, each group had two or three goats originating from the same group as MidLact. The groups were small (n=4) and of similar composition in terms of breeds and live weight variation to make the social environment as similar as possible.

The groups were housed in 7.6 m² group pens with slatted floors. Each pen was equipped with four feed stations, one feed station consisting of a trough system fitted on a scale, manufactured by Baléa (Saint-Mathieu de Trévières, France) and an antenna manufactured by Gabard (Argentonnay, France) to receive the signal from the electronic ear-tag worn by the animals. A goat could gain access to the feed trough via its ear-tag, and each goat had access to one feed station only. The use of metal brackets between the feed station spaces

and the allocation of one feed station per animal minimized the competition and social influences while feeding.

After an adaptation to the experimental set-up of six days on average, in order to ensure that each goat learned the position of its allocated feed trough, the feeding behaviour was recorded for nine days (NoLact), 10 days (MidLact) and six days (EndLact). During adaptation, the goats were housed and fed exactly the same way as during the feeding behaviour measurements.

The animals were fed *ad libitum* with the same total mixed ration (TMR) consisting of (on a DM basis) 25 % meadow hay, 28 % chopped dried alfalfa (Rumiluz, Désialis, Paris, France), 27 % pressed sugar beet pulp, 15 % commercial concentrate (Fluvialac, Agralys Aliment, Châteaudun, France) and 5 % rapeseed meal. The TMR (DM content 54.9 %) contained (on a DM basis) 14.1 % CP, 4.7 % starch, 9.3 % ash, 42.8 % NDF, 23.7 % ADF and 4.7 % ADL. Quantities of feed offered were adjusted daily to ensure at least 10 % refusals. The TMR was offered twice daily, shortly after milking in lactating animals, in the proportion of 2/3 at 15:00 h and 1/3 at 07:00 h, according to the usual time interval between milking. Refusals were removed daily. The goats in lactation were milked twice daily in MidLact and once daily in EndLact. Those in lactation (MidLact and EndLact) were weighed at each milking and non-lactating animals (NoLact) were weighed weekly. Milking was performed in a rotary milking parlour with a low line at a vacuum pressure of 35kPA, a pulsation rate of 85 pulses/min and a pulsation ratio of 65/35. Raw milk yield was recorded using an automatic device designed for milk recording in small ruminants developed by INRAE (European patent no. 94916284.6).

2. Intake measurements and determination of meals

The feeding station system recorded the weight of the feed contained in the trough every 2 s with an accuracy of 5 g. Measurements for one day started at 15:00 h and ended with the collection of refusals around 15:00 h the next day. There was an interruption in the afternoon of around 30 min in NoLact and 1 h in MidLact and EndLact to allow delivery of the TMR, milking and the backup of the feed station software. In the morning, the

interruption was around 5 min in NoLact, 40 min in MidLact and 10 min in EndLact to allow delivery of the TMR and milking for goats in MidLact (goats in EndLact being milked once daily in the afternoon). This interruption was performed by blocking access to the feed troughs.

From the feed weight data collected, an algorithm was created to identify plateaus (adapted from [Blavy et al., 2020](#)), i.e. times when the feed weight was stable. Between these plateaus, the feed weight was unstable because the goat was interacting with the feeding station, and these unstable events were referred to as visits. To group visits into meals, an intra-meal interval was determined using the method described by [Tolkamp et al. \(1998\)](#). Briefly, the log frequency of the plateaus (pauses between visits) was calculated, and a frequency plot was performed for each individual. However, unlike [Tolkamp et al. \(1998\)](#), we did not find two normal distributions, but one clear normal distribution followed by a flat distribution for intervals ≥ 8 min. The first part of the distribution corresponds to the high frequencies of the short intervals (intra-meal intervals) and the rest of the distribution includes longer intervals (between meal intervals). We combined in one meal the weight of the feed consumed and the occupancy time of the feeding station for all visits spaced less than 8 min apart. Given the accuracy of our scales (5 g), meals with less than 10 g of feed consumed were removed, as were meals with durations of less than 10 s, as these were considered experimental artefacts. Using this method, we were able to determine six variables of feeding behaviour (**Table 1**). In accordance with previous work ([Giger-Reverdin et al., 2020](#)), special emphasis was given to the first meal after feed delivery.

Table 1. Description of the six variables of feeding behaviour used in the analyses.

Variable	Abbreviation	Definition	Unit
Number of daily meals	NDM	Number of meals occurring during a period between 15:00 h day N and 15:00 h day N+1, corresponding to meal frequency	meals/day
Feed intake per meal	FIM	Amount eaten per meal, corresponding to meal size.	g/meal
Duration of a meal	DUM	Length of time each meal lasts corresponding to meal duration.	min/meal
Daily feed intake	DFI	Calculated as the sum of the FIM per day and corresponds to the total quantity of feed eaten per day.	g/day
Daily feeding time	DFT	Sum of DUM per day and corresponds to the total time spent eating per day.	min/day
Feeding rate ¹	FR	Calculated based on visits as the ratio between the size of a visit (g/visit) and its duration (min/visit) and corresponds to the speed with which the feed is ingested.	g/min

¹ This is calculated based on visits instead of meals in order to prevent the pauses within meals artificially lowering the calculated speed of ingestion.

3. Statistical Analysis

All analyses were performed using R (version 3.6.1; [R Core Team, 2019](#)). Two goats in NoLact and two goats in EndLact were excluded from the analyses due to loss of data. In our final analyses, we used data from 14 goats in NoLact, 32 goats in MidLact, and 22 goats in EndLact (including 20 goats also studied in MidLact) recorded during nine days (NoLact), 10 days (MidLact) and six days (EndLact). It is impossible to completely avoid confounding effects between age, growth and milk yield, but during both NoLact and EndLact the goats were in mid-gestation and the milk yield of the EndLact goats was coming to an end, hence the main difference between these two groups were their age and the associated differences in growth.

Three datasets were used to investigate feeding behaviour variables: 1) for each individual, in each stage and for each day, each meal was characterized by their duration and the quantity of feed eaten during that meal whereas the feeding rate was calculated on the basis of visits to the trough and not meals. This was done to ensure that the feeding rate was independent of the pauses that inevitably occur when a meal criterion is used. A graphical comparison of the first meal versus the other meals, for each individual, was made to study the variability between meals within days. The intra-class correlation coefficient, ICC, for goats in EndLact and NoLact was calculated on the variables of the first meal, with the R package *ICC* (Wolak, 2016). MidLact individuals were not used to calculate the ICC to avoid repeated measurements. In addition, the EndLact and NoLact stages were chosen because, except for the age of the individuals, they were similar in terms of stage of gestation. 2) For each individual, in each stage and for each day, the mean quantity of feed eaten per meal (FIM), the mean duration of a meal (DUM) and the mean feeding rate (of visits; FR) were calculated. The total quantity of feed eaten (DFI), the total feeding time (DFT) and the total number of meals (NDM) for each day were also summarized. These six variables of feeding behaviour are either meal/visit related (FIM, DUM and FR) or daily variables (NDM, DFI and DFT). From this dataset, the intra-individual and inter-individual variabilities were investigated using box plots and were expressed as the ICC, for goats in EndLact and NoLact. The correlation between the size of the first meal and the daily feed intake was calculated using Pearson's coefficient of correlation. 3) For each individual, in each stage the mean over the entire experimental period was calculated for each of the six feeding behaviour variables, as well as body weight (BW) and milk yield. From this dataset, BW and milk yield were compared between breeds and between lactation stages by Kruskal-Wallis test and Wilcoxon test, respectively. Correlations between stages for daily variables (NDM, DFI and DFT) were investigated using Pearson's coefficient of correlation. Using a general linear model (LM), a type II Anova with Wald test was conducted to test the effects of BW, breed, and stage of lactation on NDM, DFI, DFT, FIM, DUM, and FR. The model included individuals as a random effect, BW as a covariate, with breed and stage of lactation fitted as fixed effects, together with their interaction. Homoscedasticity and normality of errors of the model were scrutinized with the Breusch-Pagan test and Shapiro test, respectively. When these

parameters could not be validated, for DFI and FIM, transformation using the function *transformTukey* in the R package *rcompanion* (Mangiafico, 2020) was used. Transformations x^λ was applied on these two variables. If the results of the Anova were significant, pairwise comparisons were carried for the different factors with the Tukey test adjusted by Bonferroni.

Significance was declared at $p < 0.05$, and tendencies at $0.05 < p < 0.10$.

Results

1. Intra- and inter-individual variability in feeding behaviour within a day

Figure 1a shows the FIM for individual goats in MidLact. Although some intra-individual variability was observed for a few individuals, the intake during the first meal was relatively stable for most individuals, but variable between individuals. The size of the first meal was positively correlated with the daily feed intake ($r=0.69$; $p<0.001$). There was little intra- and inter-individual variability in the size of the other meals (**Figure 1a**), and for the duration of a meal (DUM), intra- and inter-individual variability were again higher for the first meal than for the others (**Figure 1b**). Similar results were obtained for individuals in NoLact and EndLact (data not shown).

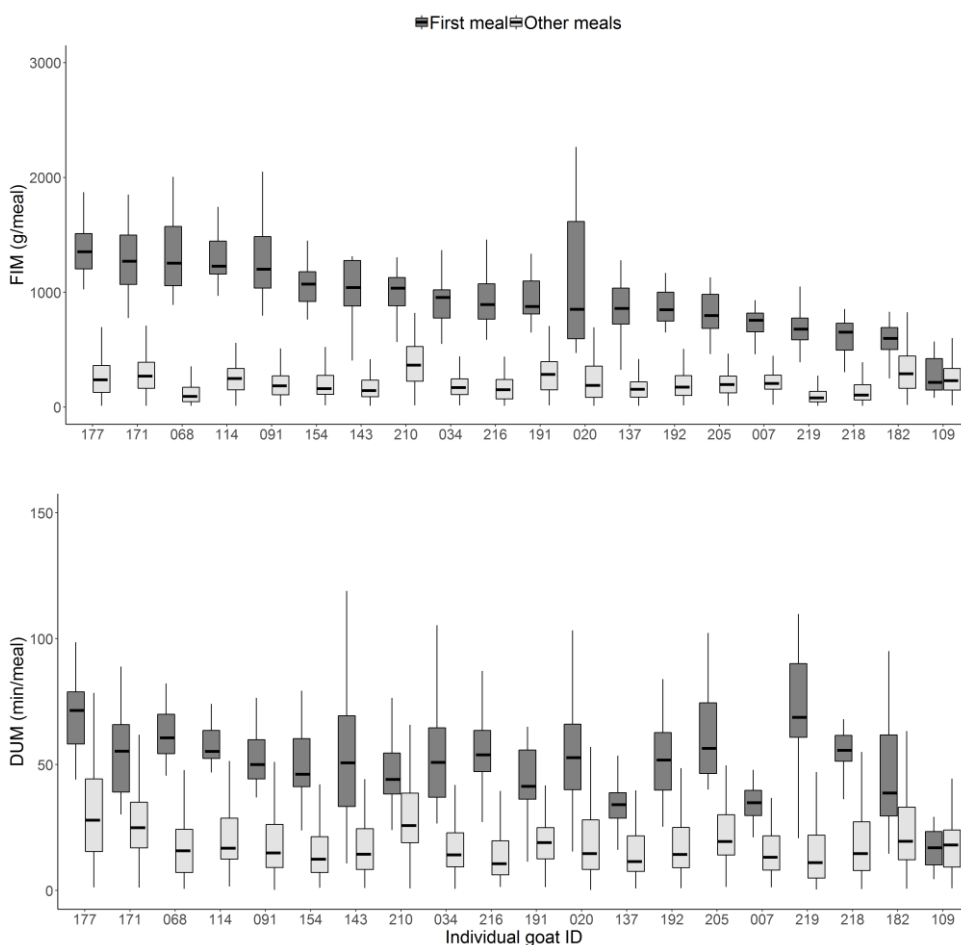


Figure 1. Boxplots ($n=20$) representing the variability of the feed intake per meal (FIM; g/meal), and of the duration of a meal (DUM; min/meal) in mid lactation (MidLact, milked twice a day, recorded during 10 days), for the first meal after the morning and afternoon feed delivery (in dark; 20 individual meal values per individual) and for all the other meals of the day (in light). Boxplots show the median (dark bar) and quartiles.

2. Intra- and inter-individual variability in feeding behaviour between days

Intra-individual variability was low between days for the number of daily meals, the daily feed intake, and the daily feeding time, i.e. feeding behaviour of individuals was relatively stable from one day to the next (Figure 2). Similar results were obtained for individuals in NoLact and MidLact (data not shown). However, all six feeding behaviour parameters and two first meal variables (the size and the duration) varied greatly among goats and the ICC results (Table 2) showed that there was more inter-individual variability than intra-individual variability for goats in EndLact and NoLact (goats in MidLact were not

included in the calculation of this coefficient because the majority of these goats also featured in the data for EndLact).

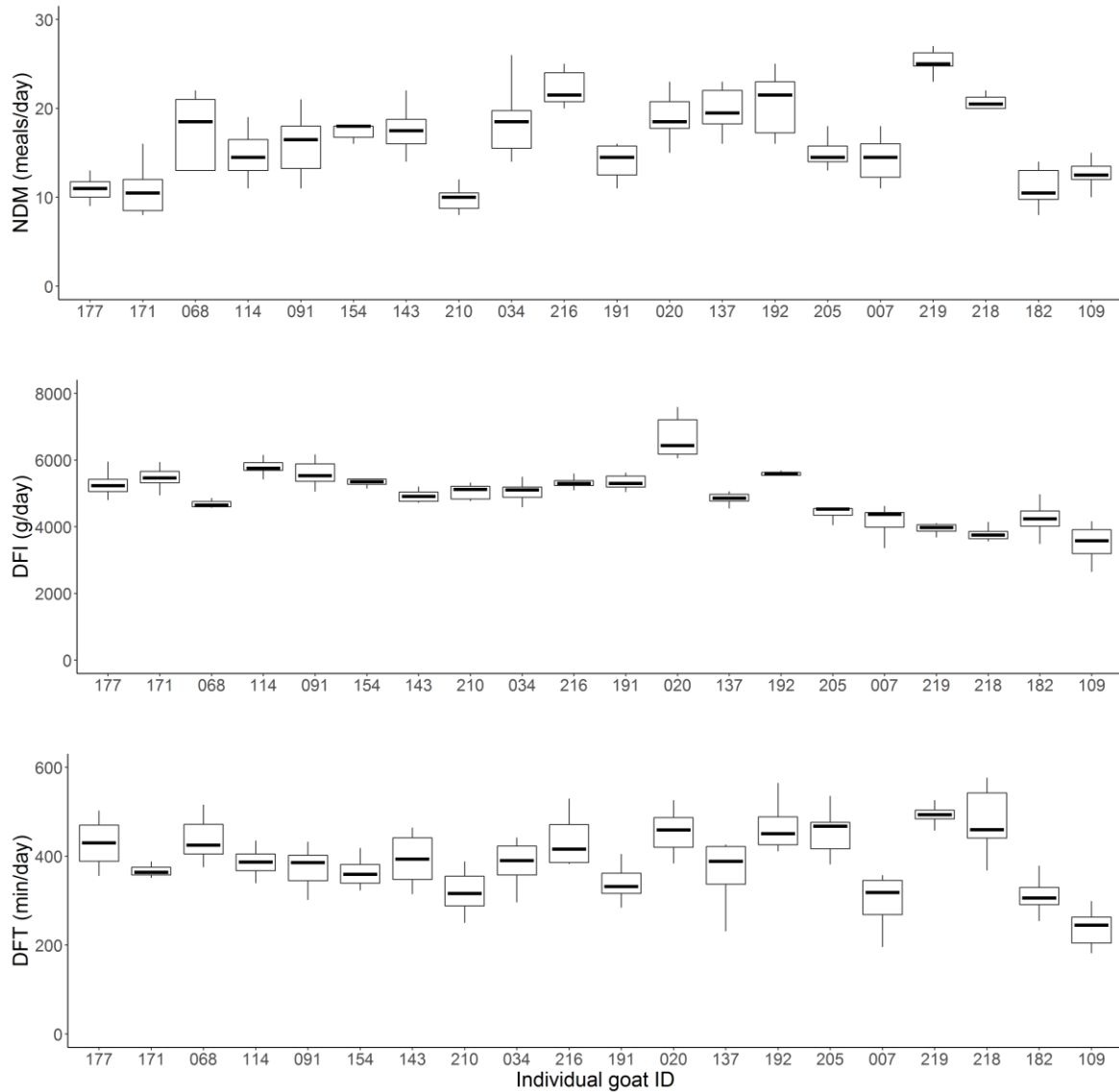


Figure 2. Boxplot ($n=20$) representing the variability between days of the number of daily meals (NDM), of the daily feed intake (DFI; g/d) and of the daily feeding time (DFT; min/d) in mid lactation (MidLact, milked twice a day, recorded during 10 days). Boxplots show the median (dark bar) and quartiles.

Table 2. Parameters of the Intra-class Correlation Coefficient (ICC) test of measures of daily variables (DFI, DFT, NDM), variables based on meals (DUM and FIM, 1st indicates first meal following delivery) and variable based on visits (FR) for 36 goats (n=14 in NoLact: no lactation, recorded during nine days, n=22 in EndLact: mid lactation, milked once a day, recorded during six days).

	NDM (meals/day)	DFI (g/day)	DFT (min/day)	FIM (g/meal)	FIM 1 st (g/meal)	DUM (min/meal)	DUM 1 st (min/meal)	FR (g/min)
ICC	0.67	0.96	0.57	0.78	0.81	0.34	0.29	0.76
Lower CI	0.55	0.93	0.44	0.69	0.73	0.21	0.17	0.66
Upper CI	0.78	0.97	0.71	0.87	0.88	0.50	0.45	0.85
Var W	4.86	68664	2579	1086	21206	22.3	248	14.6
SD W	2.21	262	50.8	33.0	146	4.72	15.8	3.82
Var A	9.77	1485158	3439	3919	90523	11.4	101	45.1
SD A	3.13	1219	58.7	62.6	301	3.38	10.1	6.72
Var A/Var W	2.01	21.6	1.33	3.61	4.27	0.51	0.41	3.09
Overall mean	14.4	3884	321	175	837	18.9	48.1	41.1
Overall SD	3.21	1207	61.5	70.0	310	5.78	12.0	6.69

CI: Confidence Interval, Var W: Variance within individuals, SD W: Standard Deviation within individuals, Var A: Variance among individuals, SD A: Standard Deviation among individuals. DFI: daily feed intake; FIM: feed intake per meal; DFT: daily feeding time; NDM: number of daily meals; DUM: duration of a meal; FR: feeding rate.

In **Figure 3**, the mean feed intake per meal of each individual goat is plotted against their mean number of daily meals. Overall, the data points clustered around the mean for each lactation stage, reflecting the normal distribution of the data with a few individuals showing more extreme feeding patterns with either few, but large meals, or many small meals.

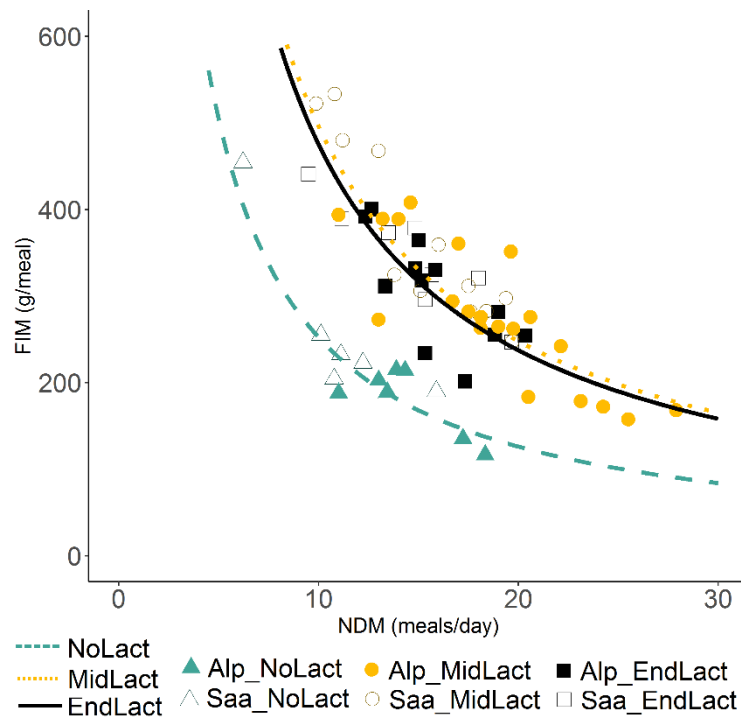


Figure 3. Scatterplot of mean feed intake per meal (FIM; g/meal) plotted against mean number of daily meals (NDM) for goats tested in three lactation stages: NoLact (n=14): no lactation, recorded during nine days; MidLact (n=32): mid lactation, milked twice a day, recorded during 10 days; EndLact (n=22): end of lactation, milked once a day, recorded during six days. Alpines goats (Alp) are indicated with solid markers and Saanen goats (Saa) with open markers. The isoclines ($x*y$) indicate overall mean daily feed intake (DFI; g) for each stage of lactation.

3. Feeding behaviour across stages of lactation

Some of the goats (n=20) were tested in both MidLact and EndLact. Within each variable, number of daily meals, daily feed intake and daily feeding time were significantly correlated between the two lactation stages (**Figure 4**).

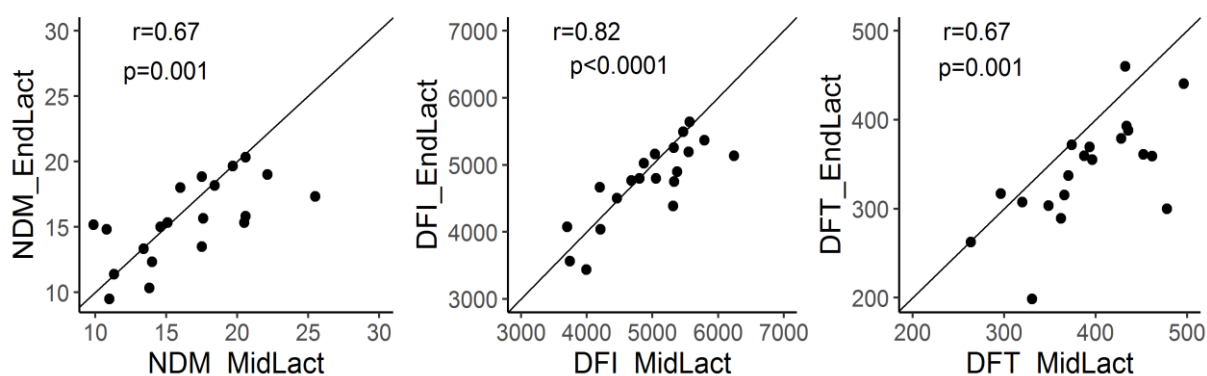


Figure 4. Scatterplots of individual means ($n=20$) of NDM, DFI and DFT in MidLact (x -axis; 10 days of measurement) tested and EndLact (y -axis; six days of measurement). For better clarity, the axes do not start at zero. MidLact: mid lactation, milked twice a day; EndLact: end of lactation, milked once a day. NDM: number of daily meals (meals/day); DFI: daily feed intake (g/day); DFT: daily feeding time (min/day).

4. Effects of breed and stage of lactation on feeding behaviour

Saanen goats were heavier than Alpine goats (59.6 ± 5.90 kg vs 51.1 ± 6.31 kg in NoLact, 58.5 ± 6.41 kg vs 53.7 ± 6.34 kg in MidLact, and 67.3 ± 10.1 kg vs 61.8 ± 9.08 kg in EndLact, respectively; $p=0.003$). The goats in MidLact produced more milk than goats in EndLact (respectively 3.56 ± 0.51 kg/day and 2.05 ± 0.49 kg/day, $p<0.0001$), and there was no difference in milk yield between breeds (Alp: 2.9 ± 0.89 kg/day; Saa: 3.0 ± 0.93 kg/day, $p=0.773$). The interaction between breed and stage of lactation was not significant, and Alpine and Saanen goats did not differ in their feeding behaviour. Details on the feeding behaviour variables for each breed within each stage of lactation are shown in **Table 3**.

Table 3. Mean (\pm SD) for six variables of feeding behaviour of goats according to their stage of lactation and breed (Alpine or Saanen).

	NoLact		MidLact		EndLact		Breed effect (p-value)	Stage of lactation effect (p-value)	Pairwise comparison (p-value)		
	Alpine (n=7)	Saanen (n=7)	Alpine (n=20)	Saanen (n=12)	Alpine (n=12)	Saanen (n=10)			NoLact vs MidLact	NoLact vs EndLact	MidLact vs EndLact
NDM (meal/day)	14.5 \pm 2.52	11.4 \pm 3.00	18.8 \pm 4.42	16.2 \pm 3.51	15.8 \pm 2.57	14.6 \pm 3.48	0.237	0.005	0.004	0.004	0.004
FIM (g/meal)	180 \pm 38.8	250 \pm 93.4	279 \pm 81.4	368 \pm 103	306 \pm 62.5	351 \pm 68.5	0.185	0.0007	<0.0001	<0.0001	<0.0001
DUM (min/meal)	21.6 \pm 4.82	25.6 \pm 5.12	22.7 \pm 4.99	27.0 \pm 6.70	22.9 \pm 2.63	23.7 \pm 5.29	0.856	0.796	-	-	-
DFI (g/day)	2487 \pm 386	2559 \pm 225	4847 \pm 786	5148 \pm 515	4683 \pm 647	4829 \pm 538	0.457	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
DFT (min/day)	302 \pm 63.1	274 \pm 46.3	404 \pm 72.9	383 \pm 44.5	356 \pm 58.4	327 \pm 52.6	0.167	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
FR (g/min)	37.9 \pm 7.33	45.5 \pm 6.87	35.0 \pm 5.40	37.4 \pm 6.23	40.2 \pm 5.66	41.2 \pm 6.61	0.760	0.175	-	-	-

NoLact: no lactation, recorded during nine days; MidLact: mid lactation, milked twice a day, recorded during 10 days; EndLact: end of lactation, milked once a day, recorded during six days. NDM: number of daily meals; FIM: feed intake per meal; DUM: duration of a meal; DFI: daily feed intake; DFT: daily feeding time; FR: feeding rate.

Discussion

Our study showed a high variability among goats for three feeding behaviour variables (daily feed intake, number of daily meals and feed intake per meal) but with a relatively low variability within individuals. However, the duration-related feeding behaviour variables (duration of a meal and daily feeding time) appeared to be less useful for characterizing variability between individuals. The size of the first meal following a feed distribution appeared to differ more between than within individuals compared to the remaining meals of the day. The size of the first meal was positively correlated with the daily feed intake. The feeding behaviour was relatively stable from one day to the next for a given individual, with a good correlation between different lactation stages. In addition, stage of lactation affected the feeding behaviour of dairy goats.

As expected, our results showed that daily feed intake was relatively stable within an individual, whereas the variability between individuals was found to be 18 times greater. In order to obtain a given daily feed intake, goats can use different combinations of meal size and frequency and, likewise, the only way to achieve different daily feed intakes is to differ in either meal frequency or meal size or both (Nielsen, 1999). This is particularly clear for the daily feed intake of non-lactating goats that was significantly lower than that of their milk producing conspecifics, due to lower energy and metabolic needs. The reduced daily feed intake was a result of both a lower number of daily meals and less feed eaten per meal. Unfortunately, the non-lactating goats used in the present study did not have their feeding patterns monitored during lactation, so we do not know the spread in feeding patterns after parturition, and to what extent goats with the more extreme patterns remained like that.

Nielsen (1999) argued that within a given environment feeding behaviour can be considered as a characteristic of an individual. Given that the goats in the present experiment were kept in near-identical conditions, what causes the observed variability between individuals? Our results showed that the number of daily meals and the feed intake per meal were relatively stable within an individual, whereas the variability between individuals was three times greater. More precisely, phenotyping of goats showed a normal distribution of

feeding patterns with very different patterns in terms of number of daily meals and feed intake per meal for the extremes. As described in the introduction, [Giger-Reverdin et al. \(2012\)](#) found a range of feeding patterns in goats, and this individual variability in feeding behaviour has also been observed in cows ([Morita et al., 1996](#); [Friggens et al., 1998b](#)). Many factors can cause individuals to vary in their feeding strategy to maintain a stable daily feed intake from one day to the next. For example, competition for feed access induced by a social environment can affect the feeding behaviour ([DeVries et al., 2004](#)), although our design limited this possibility. Indeed [Fernández et al. \(2007\)](#) showed that the grouping of goats led to an increase in aggressive interactions that could affect feeding behaviour by reducing the amount of feed consumed by some goats. However, three days after regrouping, aggression had returned to the same level as before regrouping the animals. This indicates that, for the group size used in their study, seven to eight animals per group, three days were sufficient to reinstate a stable social organization. It would therefore be expected that in our groups of four individuals, social relationships would be restored within the same time span. We deliberately kept the goats in small groups (n=4) of similar composition in terms of breeds and live weight variation to make the social environment as similar as possible between the groups, and we allowed the goats to adapt to their environment before starting the measurements. Moreover, the use of brackets between the trough spaces and the allocation of one trough per animal minimized competition and social influences while feeding.

Our study showed that the duration-related feeding behaviour variables, i.e. meal duration and daily feeding time, appeared to be less useful for characterizing variability among individuals. Indeed, their inter-individual variability was less than twice their intra-individual variability. The calculation of these variables uses the notion of a meal criterion to define what constitutes a meal. The definition of a meal can vary between studies and depends on the species ([Abijaoudé et al., 2000](#); [Landau et al., 2000](#)). As a reminder, we chose to combine in one meal the weight of the feed consumed and the occupancy time of the feeding station for all visits spaced less than 8 min apart. This method lengthens the duration of a meal and the daily feeding time because short pauses within each meal are integrated

in the durations included in the calculation of these two variables. For this reason, the feeding rate was calculated not based on meals but based on visits only. Nielsen (1999) proposed that individual animals had a preferred feeding rate, and that this feeding rate would change only if the animals were hungry or if competition for access to feed increased. None of these causes apply to the present experimental set-up, as all animals were fed *ad libitum* from their own, individual feed trough, and the feeding rates remained relatively stable within individuals.

Looking into the variability in more detail, our study appeared to show that the first meal after fresh feed has been delivered was more variable between individuals than within individuals in terms of feed intake per meal, while the other meals were relatively stable between and within individuals. Human activity at the goat farm is more pronounced at feeding and milking times than during the rest of the day. This peak activity can influence differently individual animal behaviour (Grant and Albright, 2001; DeVries et al., 2003a), and the addition of fresh feed stimulates feeding behaviour, which may make the first meal more suitable for detecting individual differences. Giger-Reverdin et al. (2020) found that the proportion of feed consumed during the 90 or 180 min following feed distribution was the most relevant criteria for characterizing feeding behaviour. In our study, the size of the first meal reflected the daily feed intake of the individual goats. However, using the first meal to characterize the feeding behaviour of goats still necessitates some form of automatic recording to be able to quantify it at an individual level.

A previous study in individually housed goats (Giger-Reverdin et al., 2020) has shown a good repeatability of individual feeding behaviour between the end of their first gestation and the middle of their second gestation. Our study also showed a good repeatability between goats tested in mid- and late lactation. Giger-Reverdin et al. (2020) recommended phenotyping individual dairy goats during their first pregnancy to allow farmers to adapt their herd management. Another option could be to use feeding behaviour phenotyping from an early age when individuals are still fed milk from an artificial feeding device with automatic measurements. Provided that stable feeding patterns are established from an

early age in a stable environment, if they reflect adult behavioural patterns, the most suitable and flexible individuals for the herd could be selected at an early age. However, in a preliminary experiment no clear relationship between the individual feeding pattern measured at pre-weaning stage and the feeding pattern measured in adult life was found (Cellier et al., 2019). Being able to measure feeding behaviour at an individual level could provide useful information for characterizing production animals, to be used as a tool in feeding management and genetic selection with potential benefits for disease prevention. Indeed, there are indications that rumination patterns differ when certain diseases are present (e.g. Marchesini et al., 2018), although this may be an indirect effect of changes in overall activity. More studies with large data sets including both individual feeding behaviour and disease recordings are needed to elucidate these associations.

It is known that feeding behaviour can be influenced by individual characteristics, in particular by physiological stage and production level (Albright, 1993, Forbes, 2007). It is however difficult to avoid confounding effects of age, body weight changes and milk yield. Nevertheless, during lactation, the demand for nutrients and energy is high, which influences feeding behaviour. In our experiment, daily feed intake was higher in lactating goats compared to non-lactating goats, although the latter were still growing. Indeed, Friggens et al. (1998a) have shown that for cows fed with a high concentrate diet the intake pattern reflected the milk yield curve, i.e. the dry matter intake increased to a peak and then declined as milk yield and energy requirements declined while for cows fed a low concentrate diet, there was no effect of stage of lactation on dry matter intake. In order to obtain different daily feed intakes, goats appear to use different strategies: compared to non-lactating goats, the goats with the highest energy demand (i.e. mid-lactation) increased both their number of daily meals and their feed intake per meals to a greater extent than goats in end-lactation. This highlights the effect of milk production on the nutritional requirements of individuals and consequently on their feeding behaviour.

As Saanen goats were heavier than Alpine goats, we expected a difference in daily feed intake between the breeds, which – all other things being equal – would have led to changes

in the meal pattern. Indeed, Giger-Reverdin et al. (2020) reported that Saanen goats ate faster, for less time and with fewer feeding periods than Alpine goats. However, they also found that Saanen goats ate less dry matter daily than Alpine goats, although Saanen goats are heavier, and hypothesized that Saanen have less stable rumen conditions and poorer digestion than Alpine animals. Nevertheless, in our study, no differences in feeding behaviour were found between these two breeds.

The present study provides some of the first quantifications of feeding behaviour variables for individual dairy goats whilst group housed. It is true that the apparatus used in this study, i.e. one goat per feeding station, is difficult to apply on-farm in commercial conditions. Nevertheless, this study has emphasised individual differences in feeding behaviour which confirms the importance of taking into account the individual in the management of a herd.

The confirmation of the variability of feeding behaviour between individuals raises questions about the flexibility of the different feeding patterns when there is an unpredictable change in the environment, as can happen on-farm when feed supplies are interrupted. It has been shown that when ruminants were confronted with a feed of low palatability, the number of meals increased and the size of the meals was reduced (Baumont et al., 1990). Using the nomenclature of Giger-Reverdin et al. (2012), “nibblers” which already displayed this type of feeding pattern could be less constrained in such situations. In contrast, “big loaders” could be more affected by changes in their environment such as feed shortages or increased social competition, as they would have to adjust their feeding behaviour to a much greater extent. Further studies need to be carried out to continue to improve our knowledge on feeding behaviour of ruminants and, in particular, on the factors that can lead to variability between individuals from the same herd and the flexibility of their feeding patterns.

Conclusion

Our study showed that three feeding behaviour variables (daily feed intake, number of daily meals and feed intake per meal) were relatively stable within an individual but showed a high variability between individuals. However, the duration-related feeding behaviour variables (duration of meal and daily feeding time) were less useful for characterizing variability. Although stage of lactation affected the feeding behaviour of dairy goats, the feeding behaviour appeared relatively stable from one day to the next for a given individual, with a good correlation between different lactation stages. Feeding behaviour was not found to differ between breeds. It is not yet fully understood why individuals in a herd differ in terms of feeding behaviour, and why these differences are relatively stable, both in the short (day) and long term (lactation).

Acknowledgements

The authors gratefully acknowledge Joseph Tessier, Alexandra Eymard, Ophélie Dhumez and the team of the Université Paris-Saclay-INRAE-AgroParisTech UMR Modélisation Systémique Appliquée aux Ruminants (Paris, France) experimental unit for the care of the animals. The authors also give special thanks to Dr Pierre Blavy for help with organising the data, and Dr Violette Chiara for her help with the R software. Marjorie Cellier was supported by the doctoral school ABIES through joint finances from AgroParisTech and INRAE, the latter acting as her employer.

Declaration of interest

The authors declare no conflicts of interest.

References

- Abijaoudé, J.A., Morand-Fehr, P., Tessier, J., Schmidely, P., Sauvant, D., 2000. Diet effect on the daily feeding behaviour, frequency and characteristics of meals in dairy goats. *Livest. Prod. Sci.* 64, 29–37. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(00\)00173-1](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(00)00173-1)
- Albright, J.L., 1993. Feeding behavior of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 76, 485–498. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(93\)77369-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(93)77369-5)
- Baumont, R., Segulier, N., Dulphy, J.P., 1990. Rumen fill , forage palatability and alimentary behaviour in sheep. *J. Agric. Sci.* 3, 277–284. <https://doi.org/https://doi.org/10.1017/S0021859600075249>
- Blavy, P., Dhumez, O., Giger-Reverdin, S., Nielsen, B.L., Friggens, N.C., 2020. A filtering algorithm for accurate determination of feed intake dynamics. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* (submitted).
- Cellier, M., Duvaux-ponter, C., Dhumez, O., Blavy, P., Nielsen, B.L., 2019. Individual differences in feeding behaviour of dairy goats, in: *Proceedings of the 53rd Congress of the ISAE.* p. 118. <https://doi.org/10.3920/978-90-8686-889-6>
- De Haer, L.C.M., Merks, J.W.M., 1992. Patterns of daily food intake in growing pigs. *Anim. Sci.* 54, 95–104. <https://doi.org/https://doi.org/10.1017/S0003356100020614>
- Desnoyers, M., Giger-Reverdin, S., Sauvant, D., Duvaux-Ponter, C., 2011. The use of a multivariate analysis to study between-goat variability in feeding behavior and associated rumen pH patterns. *J. Dairy Sci.* 94, 842–852. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3461>
- DeVries, T.J., von Keyserlingk, M.A.G., Beauchemin, K.A., 2003a. Short communication: Diurnal feeding pattern of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86, 4079–4082. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)74020-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)74020-X)
- DeVries, T.J., von Keyserlingk, M.A.G., Weary, D.M., Beauchemin, K.A., 2003b. Measuring the feeding behavior of lactating dairy cows in early to peak lactation. *J. Dairy Sci.* 86, 3354–3361. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73938-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73938-1)
- DeVries, T.J., Von Keyserlingk, M.A.G., Weary, D.M., 2004. Effect of feeding space on the inter-cow distance, aggression, and feeding behavior of free-stall housed lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 87, 1432–1438. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73293-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73293-2)

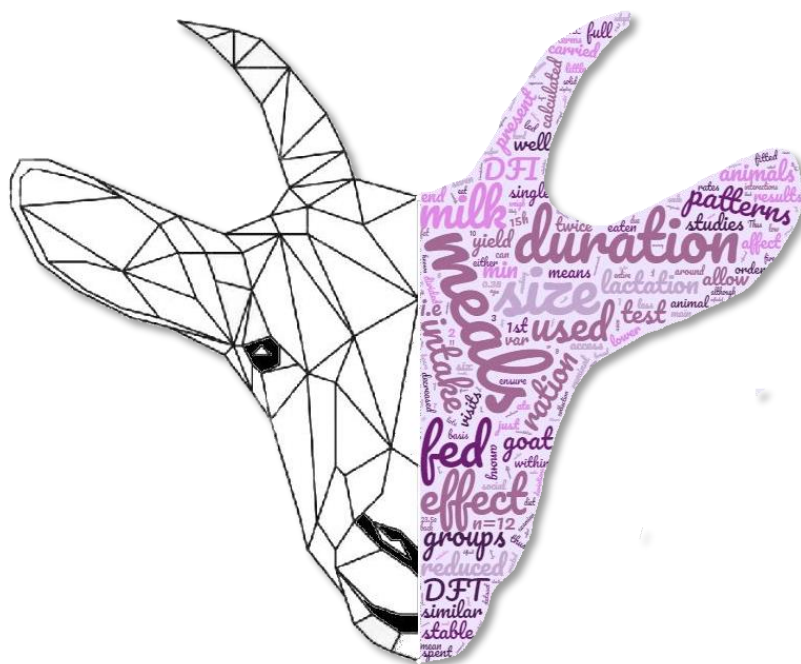
- Fernández, M.A., Alvarez, L., Zarco, L., 2007. Regrouping in lactating goats increases aggression and decreases milk production. *Small Rumin. Res.* 70, 228–232.
<https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2006.03.008>
- Forbes, J.M., 2007. Voluntary food intake and diet selection in farm animals. 2nd Edition, Cabi.
- France Génétique Elevage, 2014. La France une génétique caprine de première qualité. <http://fr.france-genetique-elevage.org/-Races-caprines>. Accessed on the 2 October 2020.
- Friggens, N.C., Emmans, G.C., Kyriazakis, I., Oldham, J.D., Lewis, M., 1998a. Feed intake relative to stage of lactation for dairy cows consuming total mixed diets with a high or low ratio of concentrate to forage. *J. Dairy Sci.* 81, 2228–2239.
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75802-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75802-3)
- Friggens, N.C., Nielsen, B.L., Kyriazakis, I., Tolcamp, B.J., Emmans, G.C., 1998b. Effects of feed composition and stage of lactation on the short-term feeding behavior of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 81, 3268–3277. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75891-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75891-6)
- Giger-Reverdin, S., Duvaux-Ponter, C., Sauvant, D., Friggens, N.C., 2020. Repeatability of traits for characterizing feed intake patterns in dairy goats: a basis for phenotyping in the precision farming context. *Animal* 1–10.
<https://doi.org/10.1017/s1751731119002817>
- Giger-Reverdin, S., Lebarbier, E., Duvaux-Ponter, C., Desnoyers, M., 2012. A new segmentation-clustering method to analyse feeding behaviour of ruminants from within-day cumulative intake patterns. *Comput. Electron. Agric.* 83, 109–116.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.02.007>
- Grant, R.J., Albright, J.L., 2001. Effect of animal grouping on feeding behavior and intake of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 84, E156–E163. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(01\)70210-x](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(01)70210-x)
- Landau, S., Silanikove, N., Nitsan, Z., Barkai, D., Baram, H., Provenza, F.D., Perevolotsky, A., 2000. Short-term changes in eating patterns explain the effects of condensed tannins on feed intake in heifers. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 69, 199–213.
[https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(00\)00125-8](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(00)00125-8)
- Mangiafico, S., 2020. Functions to support extension education program evaluation. R Package.

- Marchesini, G., Mottaran, D., Contiero, B., Schiavon, E., Segato, S., Garbin, E., Tenti, S., Andrighetto, I., 2018. Use of rumination and activity data as health status and performance indicators in beef cattle during the early fattening period. *Vet. J.* 231, 41–47. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2017.11.013>
- Melin, M., Wiktorsson, H., Norell, L., 2005. Analysis of feeding and drinking patterns of dairy cows in two cow traffic situations in automatic milking systems. *J. Dairy Sci.* 88, 71–85. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72664-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72664-3)
- Miranda-de la Lama, G.C., Mattiello, S., 2010. The importance of social behaviour for goat welfare in livestock farming. *Small Rumin. Res.* 90, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2010.01.006>
- Morita, S., Devir, S., Ketelaar-De Lauwere, C.C., Smits, A.C., Hogeveen, H., Metz, J.H.M., 1996. Effects of concentrate intake on subsequent roughage intake and eating behavior of cows in an automatic milking system. *J. Dairy Sci.* 79, 1572–1580. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(96\)76519-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(96)76519-0)
- Nielsen, B.L., 1999. On the interpretation of feeding behaviour measures and the use of feeding rate as an indicator of social constraint. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 63, 79–91. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(99\)00003-9](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(99)00003-9)
- Nielsen, B.L., Lawrence, A.B., Whittemore, C.T., 1996. Effect of individual housing on the feeding behaviour of growing pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 47, 149–161. [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(95\)92359-2](https://doi.org/10.1016/0168-1591(95)92359-2)
- Schwartzkopf-Genswein, K.S., Atwood, S., McAllister, T.A., 2002. Relationships between bunk attendance, intake and performance of steers and heifers on varying feeding regimes. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 76, 179–188. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(02\)00009-6](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(02)00009-6)
- Schwartzkopf-Genswein, K.S., Silasi, R., McAllister, T.A., 2003. Use of remote bunk monitoring to record effects of breed, feeding regime and weather on feeding behaviour and growth performance of cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 83, 29–38. <https://doi.org/10.4141/A02-027>
- Senn, M., Dürst, B., Kaufmann, A., Langhans, W., 1995. Feeding patterns of lactating cows of three different breeds fed hay, corn silage, and grass silage. *Physiol. Behav.* 58, 229–236. [https://doi.org/10.1016/0031-9384\(95\)00044-J](https://doi.org/10.1016/0031-9384(95)00044-J)

- Thorup, V.M., Nielsen, B.L., Robert, P.E., Giger-Reverdin, S., Konka, J., Michie, C., Friggens, N.C., 2016. Lameness affects cow feeding but not rumination behavior as characterized from sensor data. *Front. Vet. Sci.* 3, 1–11.
<https://doi.org/10.3389/fvets.2016.00037>
- Tolkamp, B.J., Allcroft, D.J., Austin, E.J., Nielsen, B.L., Kyriazakis, I., 1998. Satiety splits feeding behaviour into bouts. *J. Theor. Biol.* 194, 235–250.
<https://doi.org/10.1006/jtbi.1998.0759>
- von Keyserlingk, M.A.G., Weary, D.M., 2010. Review: Feeding behaviour of dairy cattle: Measures and applications. *Can. J. Anim. Sci.* 90, 303–309.
<https://doi.org/10.4141/cjas09127>
- Wolak, M., 2016. Facilitating estimation of the intraclass correlation coefficient. R Package.

CHAPITRE 5.

Étude de la flexibilité du comportement alimentaire et des capacités d'adaptation des chèvres laitières



Cet article a été soumis pour publication au journal *Animal* en février 2021.

Résumé

Avec l'augmentation de la taille des troupeaux et de la production par exploitation dans les élevages de ruminants, les pratiques d'élevage ont changé avec une simplification des pratiques quotidiennes et une réduction de la fréquence des opérations effectuées telles que la distribution de la ration. Toutefois, la simplification des pratiques d'alimentation peut induire des variations de l'environnement nutritionnel et social des animaux. Peu d'études ont été menées sur l'effet d'une modification de la fréquence de distribution de la ration sur le comportement alimentaire des ruminants, et aucune étude à notre connaissance n'a été réalisée à ce sujet chez des chèvres laitières hébergées en groupe. Les objectifs de cette étude étaient de déterminer si des changements dans la fréquence de distribution de la ration affecteraient le comportement alimentaire des chèvres, et si des fréquences de distribution différentes affecteraient différemment les profils comportementaux. En outre, nous voulions déterminer les effets sur le comportement alimentaire de l'ajout d'aliments frais par rapport à un brassage dans la mangeoire (mimant la repousse), ainsi que les effets des brassages par rapport à leur absence.

Vingt-quatre chèvres laitières à la fin de leur première lactation et au milieu de leur seconde gestation ont été utilisées. Elles étaient hébergées en groupes de quatre individus avec deux Saanen et deux alpines par groupe, équilibrés en termes d'âge, de poids et de production laitière. Chaque chèvre avait accès à sa propre station d'alimentation individuelle. Une station d'alimentation était composée d'une mangeoire placée sur une balance qui enregistrerait son poids toutes les deux secondes. Toutes les chèvres ont reçu la même ration complète *ad libitum* pendant 29 jours. L'expérience était divisée en quatre périodes successives durant lesquelles la fréquence de distribution de la ration était modifiée entre chaque période : 1) deux distributions par 24h, à 15h et 7h ; 2) quatre distributions par 24h, à 15h, 19h, 23h et 7h ; 3) une distribution par 24h, à 15h ; 4) à nouveau deux distributions par 24h, à 15h et 7h. Lors de la période 2, la moitié des groupes recevait quatre « vraies » distributions, tandis que l'autre moitié recevait la ration en une seule fois suivie de trois brassages dans la mangeoire pour simuler les repousses habituellement réalisées en élevage. Les variables du comportement alimentaire, c'est-à-dire le nombre de repas journaliers, la

taille et la durée de ces repas, ainsi que la durée journalière d'ingestion et la quantité journalière consommée, ont été calculées en regroupant les visites enregistrées en repas tandis que la vitesse d'ingestion a été calculée sur les visites. Un critère de repas de 8 minutes a alors été calculé et utilisé suivant la méthode décrite par [Tolkamp et al. \(1998\)](#). Une attention particulière a été portée au premier repas suivant la distribution de 15h car c'était la seule distribution commune à toutes les périodes. Les différences individuelles entre chaque période et la première période ont été calculées et analysées. Ces différences ont aussi été calculées entre les périodes 2 et 3 pour étudier les effets des brassages par rapport à une nouvelle distribution de la ration. La variabilité inter- et intra-individuelle a également été étudiée. Des corrélations pour les variables du comportement alimentaire entre les deux périodes où deux distributions quotidiennes étaient réalisées (périodes 1 et 4) ont été effectuées afin de tester la stabilité des profils alimentaires.

Notre étude a permis de mettre en évidence que les chèvres laitières hébergées en groupes modifiaient leur comportement alimentaire lorsque la fréquence de distribution de la ration était modifiée. Plus précisément, une réduction de la fréquence de distribution à une seule fois par jour a entraîné les changements les plus importants tels qu'une augmentation de l'ingestion journalière ou encore de la durée et la taille des repas. Nous avons également montré que les profils alimentaires restaient stables au cours des différentes périodes de changement de fréquence, c'est-à-dire que la variabilité était plus importante entre les chèvres qu'au sein d'un individu. Nous avons également confirmé qu'une nouvelle distribution d'aliments stimulait plus le comportement alimentaire que de simples brassages dans la mangeoire. Enfin, lorsque la ration était donnée une seule fois par jour, l'ajout de brassages n'avait que peu d'effets sur le comportement alimentaire.

Les chèvres adaptent leur comportement alimentaire à une modification de la fréquence de distribution de la ration. Le brassage de la ration dans la mangeoire ne remplace pas une nouvelle distribution d'aliment. Ces résultats devraient être pris en compte lors de la comparaison d'études dont les fréquences de distribution de la ration sont différentes.

Dairy goats adapt their feeding behaviour to the frequency of feed delivery

Marjorie Cellier¹, Birte L. Nielsen¹, Sylvie Giger-Reverdin¹ and Christine Duvaux-Ponter^{1*}

¹Université Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech, UMR Modélisation Systémique Appliquée aux Ruminants (MoSAR), 75005 Paris, France

*** Correspondence:**

Corresponding Author: Tel.: +33 1 44 08 18 10.

E-mail address: christine.duvaux-ponter@agroparistech.fr

Full address: UMR Modélisation Systémique Appliquée aux Ruminants, AgroParisTech, 16 rue Claude Bernard, 75231 Paris Cedex 05, France

Key words: feeding behaviour, adaptation, feeding frequency, meal pattern, TMR

Journal: *Animal*.

Impact factor: 2.026

Submitted in: February 2021

Abstract

Few studies have been conducted on the effect of a change in the frequency of feed delivery on ruminant feeding behaviour, and none in group-housed dairy goats. First-parity dairy goats (N=24) in late-lactation and mid-gestation were housed in six groups of two Alpine and two Saanen goats per group, balanced for age, body weight and milk yield at the start of the experiment. Each goat had access to its own individual feed trough placed on a weigh scale with data logged every 2 sec. All goats were fed the same total mixed ration (TMR) ad libitum for 29 days. The experiment was divided into four successive periods of seven days each (+1 day in period 1), with feed delivery frequency modified between each period: period 1: two deliveries per 24h (2xstart) at 15:00 h and 07:00 h; period 2: four deliveries (real or simulated by feed stirrings) per 24h (4x); period 3: one delivery per 24h (1x) at 15:00 h; and period 4: two deliveries per 24h (2xend) as period 1. During period 2, half of the groups received the feed allowance in four portions at 15:00 h, 19:00 h, 23:00 h, and 7:00 h, the remaining groups received the total daily feed allowance in one delivery at 15:00 h, with stirrings when the others were freshly fed. Feeding behaviour variables (daily feeding time, daily feed intake, meal frequency, size, and duration) were computed for each animal using a meal criterion of 8 min while feeding rate was calculated on a visit basis. The last 5 days of each period were used to calculate individual means for each period and individual differences between period 1 (2xstart) and the other periods. During period 1 (2xstart), the goats ate on average 15.3 ± 3.48 meals/day, consuming 4.79 ± 0.60 kg fresh TMR daily. Feed delivery frequency modified feeding behaviour and a reduction in feed delivery frequency to once daily led to the greatest changes. Fresh feed delivery stimulated more feeding behaviour compared to just stirring the feed already present. Finally, when the feed was delivered once a day, the addition of feed stirring had little effect on feeding behaviour. Goats adapt their feeding behaviour to the frequency of feed delivery and stirring of the feed cannot replace the delivery of fresh feed. These findings should be taken into account when comparing studies with dissimilar feed delivery frequencies.

Introduction

As herd size and production per farm increase in ruminant systems, husbandry practices have changed as a consequence, through simplification of daily practices and a reduction in the frequency of operations carried out such as the number of feed deliveries. However, simplifying animal feeding practices may induce variations in the nutritional and social environment. For dairy cows, the delivery of a total mixed ration (TMR) is done on most farms once or twice a day to reduce labour costs as much as possible. However, low frequency of feed delivery may, in addition to increasing the competition between individuals (DeVries et al., 2005), cause some individuals to modify their feeding pattern to avoid agonistic interactions (Miller and Wood-Gush, 1991). Differences in meal patterns exist, where different goats use different combinations of meal size and meal frequency to obtain similar daily feed intakes (Cellier et al., 2021). Such differences in feeding behaviour may be used to phenotype an individual, and Giger-Reverdin et al. (2012) proposed to characterize dairy goats from nibblers to loaders depending on their feeding pattern.

It has been shown that feeding behaviour is stimulated by feed delivery and return from milking (DeVries et al., 2003a), with the delivery of fresh feed having a greater impact than the return from milking in terms of stimulating dairy cows to eat (DeVries and von Keyserlingk, 2005). Thus, once-a-day feeding results in a peak in feeding activity immediately following the feed delivery (DeVries et al., 2005), which, by causing important fluctuations in ruminal pH could predispose individuals to subacute ruminal acidosis, in particular with an acidogenic diet (Shaver, 2002).

Robotic feeding systems that allow individuals to be fed more frequently with limited manpower are in full development (Nydegger and Grothmann, 2009). Increasing the frequency of delivery could lead to better feeding of subordinate individuals and to an increase in milk production (Nydegger and Grothmann, 2009). Gibson (1984), in a review of 35 experiments, concluded that increasing the frequency of feed delivery in dairy cows up to four or more times per day increased the percentage of milk fat, compared to one or two deliveries per day. In addition, cows fed more frequently consumed feed more uniformly after each delivery and throughout the day (DeVries et al., 2005; Mäntysaari et al., 2006).

Increasing feeding frequency resulted in a more stable ruminal environment, limiting the risk of acidosis (Soto-Navarro et al., 2000). Delivering the feed twice a day or more also reduced sorting behaviour compared to a single delivery per day (DeVries et al., 2005; Sova et al., 2013). By sorting and selecting feed, ruminants tend to push feed away from the feed bunk until they can no longer reach it. Farmers must then push back the feed to allow cows continuous access to it. DeVries et al. (2003) showed that pushing back the feed did not stimulate feed activity as much as fresh feed delivery.

Some results are inconsistent about the effect of a modification in feed delivery, for example DeVries et al. (2005) showed that increasing the frequency of feed delivery allowed the cows to increase their daily feeding time while Phillips and Rind (2001) showed no difference in feeding time for cows fed frequently or not. Hart et al. (2014) have shown that DMI was the highest in cows fed three times a day compared to twice or once, contrary to Mäntysaari et al. (2006) who showed a lower DMI for frequently fed cows compared to once a day. Phillips and Rind (2001) also examined the response of dairy cows when fed alternate days compared to daily. They noted that cows fed alternate days spent more time feeding, had a higher DMI and produced more milk with higher fat content, but with a reduced protein content compared with cows fed daily. They concluded that an increased frequency of feed delivery, daily vs alternate days and four times per day vs once, could disturb the feeding behaviour patterns and reduce milk production. Robles et al. (2007) showed that increased feed delivery frequency had no effect on feed consumption, frequency or size of meals, but decreased the feeding rate and the quantity consumed within two hours of the first morning feed delivery. Some of these differences may however be due to dissimilar types of housing and different social environments used in these studies.

Results on the effects of feed delivery frequency on the feeding behaviour of lactating dairy ruminants whilst group-housed are sparse, and to our knowledge no studies have been carried out on goats under similar conditions. The first objective of our study was therefore to examine how the frequency of feed delivery affects the feeding behaviour of group-housed lactating dairy goats. We hypothesised that the quantity eaten per day would not be influenced by delivery frequency while the meal patterns would. The second objective

was to examine how feeding patterns adapt to a change in the frequency of feed delivery, which we expected to affect the feeding patterns differently. Finally, the third objective was to compare the effect on the feeding behaviour of adding fresh feed versus a stirring of the feed already present in the trough (mimicking push-up), as well as the effect of stopping these stirrings. We assumed that provision of fresh feed would encourage more intake than would feed stirrings and stopping the stirrings would lead to a reduced intake compared to the intake observed with the feed stirrings.

Material and methods

1. Animals, housing, and diet

Dairy goats (N=24) at the end of their first lactation (245 ± 16 days in milk; DIM) and in the middle of their second gestation (62 ± 15 days post AI) were housed in six groups of four goats. As we were interested in individual feeding behaviour measured within a social environment, we used the smallest group size possible ($n=4$), as using pairs would have resulted in very long and narrow pens in our experimental set-up. Each group was composed of two Alpine goats and two Saanen goats and was balanced for age, body weight and milk yield at the start of the experiment. The groups were housed in 7.6m^2 pens with slatted floors and two drinking cups in each pen. Each pen was equipped with four feed stations, accessible via an electronic ear-tag (Gabard, Argentonay, France), consisting of a trough system fitted on a weigh scale (Baléa, Saint-Mathieu de Trévières, France). Each goat had access to its own individual feed trough. Photos of the system can be found in [Nielsen et al. \(under review\)](#).

A week before the experiment began, to allow social recognition to be established, all the goats were grouped together in a single pen. Daily milkings were reduced from twice to once a day so that, at the start of the data collection, the goats were milked only in the afternoon just before the first feed delivery. This reduction in milking frequency prevented disruptions related to milking other than at the 15:00 h feed delivery time that was common for all periods and treatments. Milking was performed in a rotary milking parlour with a low line at a vacuum pressure of 35kPA, a pulsation rate of 85 pulses/min and a pulsation ratio of 65/35. Raw milk yield was recorded using an automatic device designed for milk recording

in small ruminants developed by INRAE (European patent no. 94916284.6). Individual milk yield and body weight were measured at each milking. The temperature outside the building remained relatively stable throughout the experiment (period 1: mean daily minimal temperature: $6.38 \pm 2.41^{\circ}\text{C}$, and maximal temperature: $17.4 \pm 1.78^{\circ}\text{C}$; period 2: $6.38 \pm 4.14^{\circ}\text{C}$, and $10.2 \pm 5.15^{\circ}\text{C}$; period 3: $4.16 \pm 4.19^{\circ}\text{C}$, and $12.9 \pm 3.61^{\circ}\text{C}$; period 4: $8.15 \pm 2.83^{\circ}\text{C}$, and $13.0 \pm 1.42^{\circ}\text{C}$).

The animals were fed *ad libitum* throughout the study, using the same total mixed ration (TMR) as they received before the start of the experiment. The TMR consisted of (on a DM basis) 25% meadow hay, 28% chopped dried alfalfa (Rumiluz, Désialis, Paris, France), 27% pressed sugar beet pulp, 15% commercial concentrate (Fluviolac, Agralys Aliment, Châteaudun, France) and 5% rapeseed meal. The TMR (DM content 54.9%) contained (on a DM basis) 14.1% CP, 4.7% starch, 9.3% ash, 42.8% NDF, 23.7% ADF and 4.7% ADL. Daily quantities of feed offered were adjusted to ensure at least 10% refusals.

Due to time and labour constraints at feed delivery, it was not possible to collect and weigh feed spillage on individual basis. Instead, the volume of feed spillage around each trough was visually estimated for each goat once a day, and the total amount of spillage was collected and weighed daily. Based on this total weight and total estimated quantity, the approximate weight of individual spillage was calculated.

2. Frequency of delivery

The experiment lasted 29 days divided into four successive periods of seven days each (+1 day in period 1), with feed delivery frequency modified between each period (**Figure 1**). Measurements for one day started at 15:00 h and ended with the collection of refusals around 15:00 h the next day. All goats had previous experience with the gated feed stations, thus only three days of habituation were necessary at the beginning of the experiment. For each other periods, the first two days were considered as adaptation, and only feeding behaviour data collected during the last five days of each period were used in the analyses. The frequencies of feed delivery in the four periods were: period 1: two deliveries per day

($2x_{start}$) at 15:00 h and 07:00 h; period 2: four deliveries (real or simulated) per day ($4x$) at 15:00 h, 19:00 h, 23:00 h and 07:00 h; period 3: one delivery per day ($1x$) at 15:00 h; and period 4: two deliveries per day ($2x_{end}$) at 15:00 h and 07:00 h. In period 1, when the animals were fed twice a day, the initial quantities delivered were estimated on the basis of the feed intake for each individual during the previous months and then adjusted daily to ensure that there was always at 350 g of TMR left in the trough.

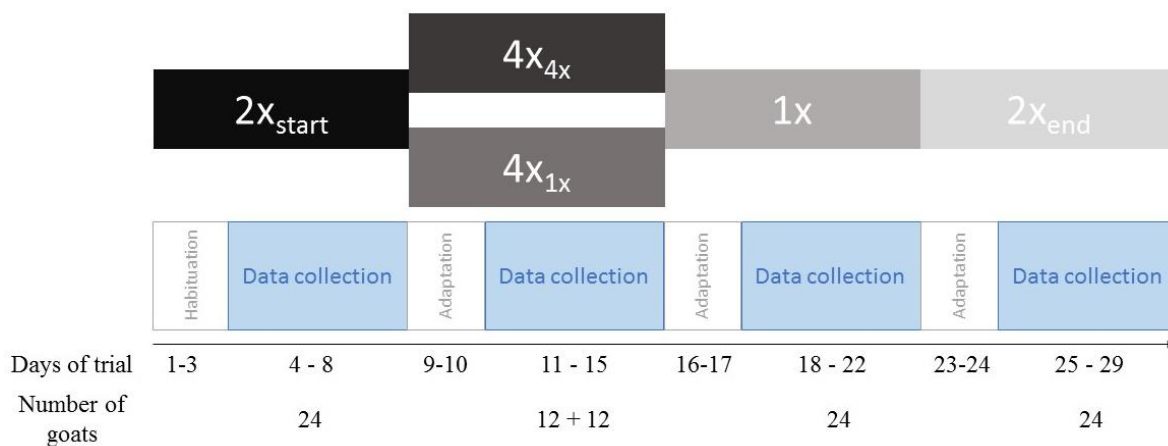


Figure 1. Schematic overview of the experimental protocol divided into four successive periods of seven days during which feed delivery frequency was modified.

Habituation: habituation to experimental set-up.

Adaptation: adaptation to change of feed delivery frequency.

$2x_{start}$: two deliveries of fresh feed per day during the first period; $4x_{4x}$: four deliveries of fresh feed per day; $4x_{1x}$: one delivery of fresh feed + three feed stirrings per day; $1x$: one delivery of fresh feed per day; $2x_{end}$: two deliveries of fresh feed per day during the last period.

Feed was distributed with approximately two-thirds of the daily ration delivered at 15:00 h and one-third at 07:00 h. During period 2, when the animals were fed four times a day, half of the groups received the feed allowance in four portions, with the first portion (at 15:00 h) adjusted in size relative to the total predicted intake for each goat and the other three portions being 1 kg delivered at 19:00 h, 1.5 kg at 23:00 h and 1.5 kg at 07:00 h ($4x_{4x}$). The quantity offered in these three portions was the same for all goats in order to facilitate the feed delivery at the goat farm and was calculated to allow *ad libitum* consumption during the four or eight hours until the next feed delivery. The other half of the groups received the total daily feed allowance in one delivery at 15:00 h, followed by three feed stirrings (i.e. the

feed remaining in the trough was mixed around manually without addition of fresh feed; 4x_{1x}) carried out simultaneously with the fresh deliveries for the groups on treatment 4x_{4x} (19:00 h, 23:00 h, and 07:00 h).

This experimental set-up used each individual goat as its own control by measuring the feeding behaviour for each goat during period 1 with two deliveries per day and returning to this frequency of delivery after the other treatments. The goats remained in the same groups, and all goats in a group received the same treatment. This allowed us to study the effect on individual feeding behaviour of the only environmental change occurring: a change in the feed delivery frequency, allowing us to test treatment effects on feeding behaviour within animal as also recommended by DeVries et al. (2003b).

3. Intake measurements and determination of meals

The feeding station system recorded the weight of the trough every 2s with an accuracy of 5g. From these data, an algorithm was used to determine periods (referred to as plateaus) when the weight of the trough was stable for at least 10s (Blavy et al., under review). These plateaus indicated that the goat was not interacting with the feed. Between these plateaus the weight of the trough was not stable because the goats interacted with the feed, so-called feeder visits. The plateaus and visits were used to characterise the feeding behaviour of each individual. For this, the visits were grouped into meals using an 8-minute meal criterion (Tolkamp et al., 1998; Cellier et al., 2021), i.e. if the duration of a plateau between visits was less than 8 min, then the visits were merged into one meal. If less than 10g of feed disappeared during a meal, it was considered as a non-feeding visit. From casual observation these occurred when goats used the feeding gates to view the corridor in front of the troughs. The mean daily number of these non-feeding visits was 10.3 (SD=3.52; median: 10; [Q1, Q3]: [8,13]; range: 2-22). In addition, a small number of meals (1%) with negative intakes were excluded, as these were found to be caused by disturbances of the weigh-scale unrelated to feeding. Using this procedure, we determined five variables (see below) to characterize the feeding behaviour of the goats (Nielsen, 1999), while one variable (feeding rate) was determined on a visit basis. As feeding behaviour is the animal engaging with the

fresh feed and the DM content was similar across the experimentation, all feeding behaviour variables are reported in fresh weight. In accordance with previous work (Giger-Reverdin et al., 2020), special emphasis was given to the first meal after the 15:00 h feed delivery, as this delivery was common across all treatments and took place immediately after the once-a-day milking.

4. Statistical analyses

All analyses were performed using R (version 3.6.1, R Core Team, 2019). Due to difficulties in adapting to the feed station, two goats were replaced on days 2 (during habituation) and 4 (first day of data collection), respectively. As the two new goats were already familiar with the device, we considered their first two days as habituation. One goat injured its leg and was removed from the experiment three days before the end of the study. Only the last five days of each period were used in the analysis. For each individual and for each day, the mean quantity of feed eaten per meal (Feed Intake per Meal, FIM), and the mean duration of a meal (DUM) were calculated, separately for the first meal after the 15:00 h delivery and for the remaining meals. The first meal after the 15:00 h delivery was considered separately because it was common to all treatment periods. The Feeding Rate (FR) was calculated on the basis of visits to the trough and not meals to ensure that it was independent of the pauses that inevitably occur when a meal criterion is used, so as to reflect better the true speed of eating. For example, the feeding rate in period 1 (two deliveries per day) averaged 14.3 ± 3.08 g/min when calculated on the basis of meals, compared to 45.4 ± 10.4 g/min when calculated on the basis of visits. The daily quantity of feed eaten (Daily Feed Intake, DFI), the daily feeding time (DFT) and the number of daily meals (NDM) were also calculated for each individual. All quantities are expressed in fresh matter. A first exploration of the data showed a lot of background noise when a trough was very heavy (mainly when there was once-daily delivery), leading to extremely long and clearly erroneous meal durations. Therefore, days for an individual were excluded if DFT deviated from their average by more than two standard deviations. This limit of two standard deviations was chosen in order to ensure the absence of incorrect measurements in the data. The intra-individual and inter-

individual variability were expressed as the intra-class correlation coefficient, *ICC*, with the R package *ICC* (Wolak, 2016). Comparisons for body weight and milk yield between breeds in period 1 with two feed deliveries per day ($2X_{start}$) were performed with Wilcoxon tests.

A second dataset summarized the measures from multiple days and goats, averaged to create one observation per goat per period. Correlations for each variable of the feeding behaviour between the first ($2X_{start}$) and the last periods ($2X_{end}$) were performed with Pearson's coefficient of correlation. The first meals following each delivery/stirring were compared between the two treatments of period 2 ($4X_{4x}$ and $4X_{1x}$) by t-test. From this second dataset, individual differences between the $2X_{start}$ and the three other periods were calculated, as well as individual differences between $4X_{1x}$ and $1x$, to investigate the effects of stirrings (presence or absence) when feed was delivered only once daily. Using a linear mixed model, a type II Anova with Wald test was conducted to test for the effects of body weight, milk yield, breed, and feed delivery frequency on feeding behaviour. The model included body weight (BW) and milk yield (MY) as covariates, with breed and feed delivery frequency fitted as fixed effects, their interactions, and with group (nested in feed delivery frequency) and goats as random effects. Homoscedasticity and normality of errors of the model were scrutinized with the Levene test and Shapiro test, respectively. When these parameters could not be validated, transformation using the function *transformTukey* in the R package *rcompanion* (Mangiafico, 2020) was used. If the results of the Anova were significant, pairwise Bonferroni corrected comparisons of periods/treatments were carried out for the different variables. One-sample t-tests were used to determine if differences in feeding behaviour variables between the $2X_{start}$ period and each of periods 2 to 4 were significantly different from zero. Also, t-tests were used to test if differences between $4X_{4x}$ and $1x$ were significantly different from zero. To test for potential carry-over effects, a Mann-Whitney test was used to investigate if the goats in period 3 ($1x$) differed in their feeding behaviour as a function of their previous treatment in period 2, either four fresh deliveries per day ($4X_{4x}$; $n=12$) or a single delivery followed by three stirrings ($4X_{1x}$; $n=12$).

Significance was declared at $P < 0.05$, and tendencies at $0.05 \leq P \leq 0.10$.

Results

Body weight and milk production during the first period $2x_{start}$ with two deliveries per day differed between breeds: Saanen goats were heavier than Alpine goats (69.3 (± 7.16) vs. 59.6 (± 8.47) kg; $W=634.5$; $P<0.001$) and produced more milk (2.30 (± 0.50) vs. 2.00 (± 0.53) kg/d; $W=634.5$; $P=0.009$). In order to account for these differences in the results, these two variables (BW and MY during the $2x_{start}$ period) were fitted as covariates in the analyses.

The feeding behaviour changed, depending on the number of feed deliveries per day (**Table 1**). For each feeding behaviour variable, the relative changes induced by the modification in frequency of delivery compared to the $2x_{start}$ period are shown in **Figure 2**. Regardless of the delivery frequency, the goats increased their daily feed intake compared to period 1 when they received two deliveries per day ($2x_{start}$). The goats receiving four fresh feed deliveries per day (period 2, $4x_{4x}$) also showed significant differences in feeding behaviour compared to when they received two fresh feed deliveries per day (period 1, $2x_{start}$), with increases in DFT and the duration of meals other than the first one. At the same time, the goats that received one fresh feed delivery followed by three stirrings (period 2, $4x_{1x}$) increased their daily feed intake by 8%, their daily time spent feeding by 7%, and the duration and size of their first meal after the 15:00 h feed delivery by 45% and 35%, respectively compared to period 1 ($2x_{start}$) when the goats received two feed deliveries per day.

Table 1. Means (SD) of feeding behaviour variables expressed in fresh matter and spillage when dairy goats were fed in period 1 ($2X_{start}$), and the means of individual differences (SD) from period 1, when the goats were fed in period 2 ($4X_{4x}$ or $4X_{1x}$), in period 3 ($1x$) and in period 4 ($2X_{end}$).

	$2X_{start}^*$	Difference from $2X_{start}$				P-value
		$4X_{4x}$	$4X_{1x}$	$1x$	$2X_{end}$	
	n=24	n=12	n=12	n=23	n=21	
Daily feed intake (g/day)	4790 (599)	+290 ^b (114)	+415 ^{ab} (295)	+552 ^a (236)	+383 ^b (216)	< 0.001
Daily feeding time (min/day)	353 (67.7)	+23.5 ^a (24.5)	+20.8 ^a (28.7)	+19.9 ^a (27.7)	+8.92 ^a (30.6)	0.015
Meal duration (min/meal)						
1st meal after 15h delivery	65.7 (29.6)	-10.6 ^b (14.9)	+23.5 ^a (30.1)	+26.8 ^a (25.9)	+27.1 ^a (22.4)	< 0.001
Other meals	19.2 (4.84)	+2.08 ^{ab} (3.42)	+1.15 ^b (4.14)	+5.33 ^a (3.31)	+2.73 ^b (4.00)	< 0.001
Meal size (g/meal)						
1st meal after 15h delivery	1287 (517)	-140 ^b (230)	+432 ^a (410)	+595 ^a (426)	+594 ^a (429)	< 0.001
Other meals	224 (62.2)	+12.1 ^b (35.9)	+18.2 ^b (80.5)	+86.3 ^a (36.1)	+23.4 ^b (58.1)	< 0.001
Feeding rate (g/min) ¹	45.4 (10.4)	-0.44 ^{ab} (4.02)	-6.24 ^c (5.11)	-5.16 ^{bc} (7.26)	0.38 ^a (4.40)	< 0.001
Meal frequency (meals/day)	15.3 (3.48)	+0.17 ^a (2.19)	-0.43 ^a (2.33)	-2.53 ^b (1.83)	-2.83 ^b (1.74)	< 0.001
Spillage (g/day)	32.9 (46.2)	-6.57 ^b (21.5)	+76.31 ^a (49.32)	+112 ^a (54.95)	+29.4 ^b (29.2)	< 0.001

P-value refer to significant effects of period on changes from the $2X_{start}$ period.

abc: Significant differences between means of individual changes relative to period 1 are indicated with different superscripts ($P < 0.05$).

$2X_{start}$: two deliveries of fresh feed per day during the first period; $4X_{4x}$: four deliveries of fresh feed per day; $4X_{1x}$: one delivery of fresh feed + three stirrings per day; $1x$: one delivery of fresh feed per day; $2X_{end}$: two deliveries of fresh feed per day during the last period.

¹ Feeding rate is calculated from feeder visits

* Means (SD) from period 1 shown for ease of assessing relative size of the differences for each variable

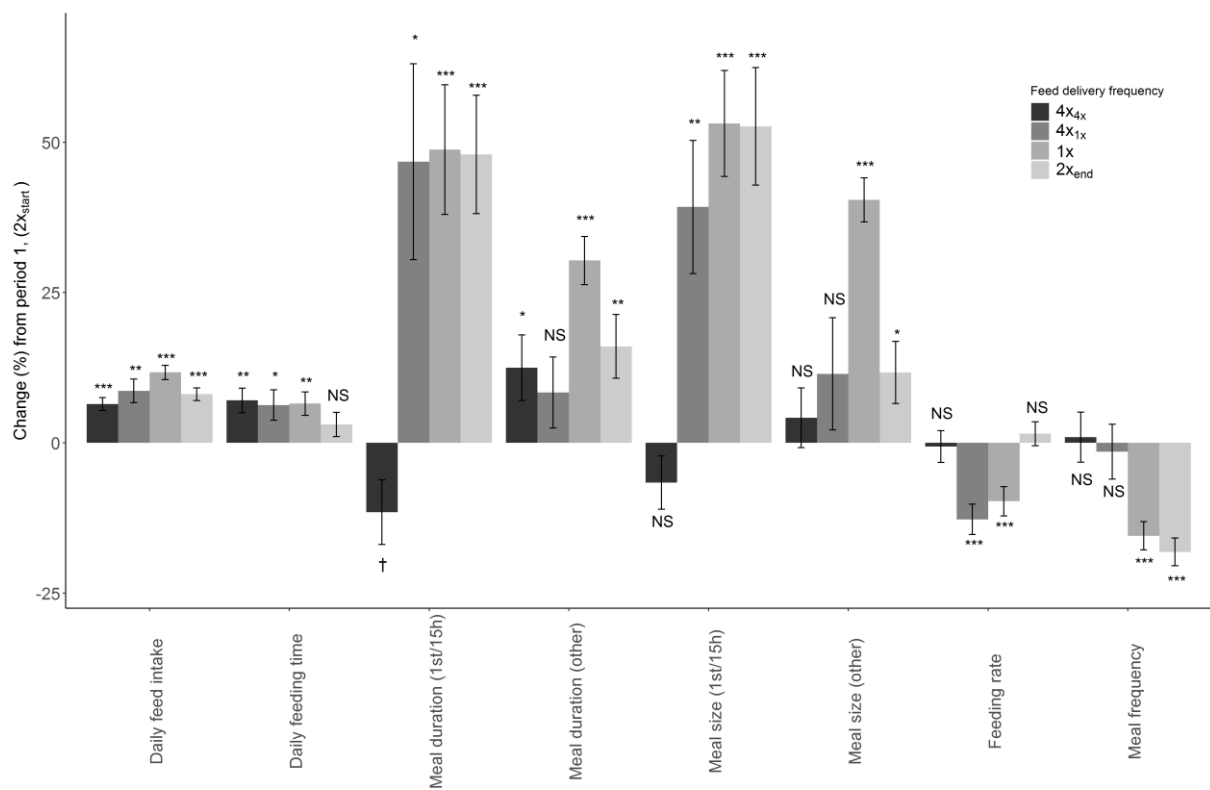


Figure 2. Mean change (% \pm SE) from period 1 ($2X_{start}$) in feeding behaviour variables for dairy goats in period 2 ($4X_{4x}$ and $4X_{1x}$, $n=12$ each), period 3 ($1X$, $n=23$) and period 4 ($2X_{end}$, $n=21$). Bars are means of percentage calculation made for individual goats.

Daily feeding time is based on meals whereas feeding rate is based on visits to the trough. Meal size and meal duration are shown for the first meal after the 15h feed delivery ($1^{st}/15h$) and for the remaining meals (other). Asterisks indicate significant change from the $2X_{start}$ period (NS non-significant, † tendency, * $P<0.05$, ** $P<0.01$, *** $P<0.001$).

$2X_{start}$: two deliveries of fresh feed per day during period 1; $4X_{4x}$: four deliveries of fresh feed per day; $4X_{1x}$: one delivery of fresh feed + three stirrings per day; $1X$: one delivery of fresh feed per day; $2X_{end}$: two deliveries of fresh feed per day during period 2.

The increase in daily feed intake was greatest during period 3 with one feed delivery per day ($1X$; **Table 1**). This increase in DFI was correlated with an increase in the size of the first meal after the 15:00 h delivery ($t=9.26$, $df=90$, $P<0.001$). Period 3 ($1X$) showed the most and largest changes compared to period 1 ($2X_{start}$), with all the feeding behaviour variables increasing in period 3 ($1X$), except for the meal frequency and the feeding rate which were around 15% and 10% lower in period 3 ($1X$) than in period 1 ($2X_{start}$), respectively. Finally, when the goats returned to two deliveries per day (period 4, $2X_{end}$), their feeding behaviour remained

modified compared to period 1 with two deliveries per day ($2x_{start}$). Indeed, except for DFT and feeding rate, all other feeding behaviour variables differed between these two periods with two feed deliveries per day (**Figure 2**). No carry-over effect was found between periods 2 and 3, as the feeding behaviour in period 3 ($1x$) did not differ between goats that in period 2 received four fresh deliveries per day ($4x_{4x}$) and those that received a single delivery followed by three stirrings ($4x_{1x}$).

The feeding behaviour during period 1 ($2x_{start}$), when the goats received two deliveries per day, varied greatly among goats and there was more inter-individual variability than intra-individual variability (**Table 2**). For example, DFI was very stable within an individual, while the variability between individuals was more than three times greater. The same appeared to be the case, but to a lesser extent, for NDM, DFT and FIM which were relatively stable within an individual, but the variability between individuals was 1.6 to 2.2 times greater, respectively. These low intra- and high inter-individual variabilities observed during period 1 ($2x_{start}$) were also found during period 2 ($2x_{end}$; data not shown). The feeding behaviour variables were all positively correlated between the first ($2x_{start}$) and the last ($2x_{end}$) period of the experiment (meal frequency: $r = 0.82$, $P < 0.001$; DFI: $r = 0.93$, $P < 0.001$; DFT: $r = 0.86$, $P < 0.001$; meal size (1st/15:00 h): $r = 0.67$, $P < 0.001$; meal duration (1st/15:00 h): $r = 0.62$, $P = 0.003$; and FR: $r = 0.90$, $P < 0.001$; **Figure 3**).

Table 2. Parameters of the Intra-class Correlation Coefficient (ICC) test of daily feeding behaviour variables (NDM, DFI, and DFT), and variables based on meals (FIM and DUM, 1st indicates first meal following delivery, O indicates other meals) and on visits (FR) for 24 goats during period 1 (2X_{start}) when the goats received two feed deliveries per day. Overall means and SD are given for ease of comparison.

	NDM (meals/day)	DFI (g/day)	DFT (min/day)	FIM (g/meal)	1 st FIM (g/meal)	O DUM (min/meal)	1 st DUM (min/meal)	O FR (g/min)
ICC	0.64	0.77	0.62	0.68	0.68	0.39	0.41	0.75
Lower CI	0.47	0.64	0.44	0.52	0.52	0.20	0.22	0.62
Upper CI	0.80	0.88	0.78	0.82	0.82	0.60	0.62	0.87
Var W	4.43	83846	1802	86378	1250	546	14.0	27.4
SD W	2.11	290	42.5	294	35.4	23.4	3.74	5.24
Var A	7.93	284542	2712	186772	2708	343	9.69	84.3
SD A	2.82	533	52.1	432	52.0	18.5	3.11	9.18
Var A/Var W	1.79	3.39	1.51	2.16	2.17	0.63	0.69	3.08
Overall mean	15.3	4790	353	1287	224	65.7	19.2	45.4
Overall SD	3.48	599	67.7	517	62.2	29.6	4.84	10.4

CI: Confidence Interval, Var W: Variance within individuals, SD W: Standard Deviation within individuals, Var A: Variance among individuals, SD A: Standard Deviation among individuals. DFI: daily feed intake; FIM: feed intake per meal; DFT: daily feeding time; NDM: number of daily meals; DUM: duration of a meal; FR: feeding rate.

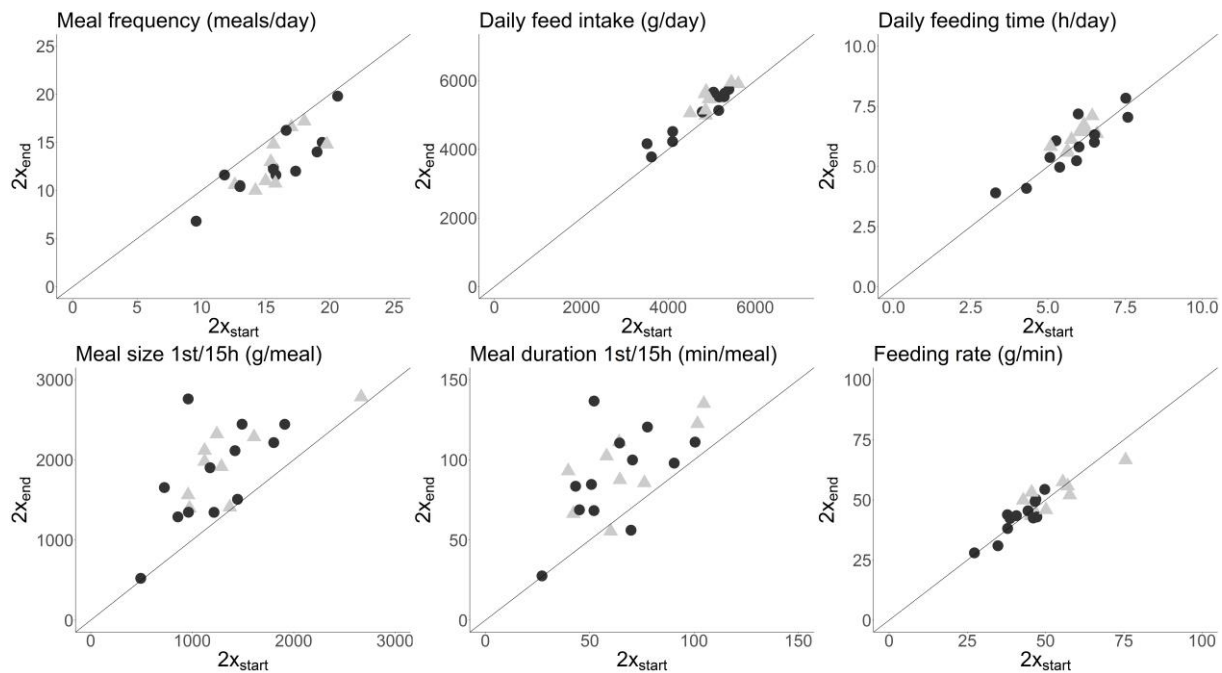


Figure 3. Scatterplot of six feeding behaviour variables in period 4 ($2x_{end}$) plotted against the same variables in period 1 ($2x_{start}$).

Alpine goats ($n=12$) are indicated with solid black circles and Saanen goats ($n=9$) with solid grey triangles.

Daily feeding time is based on meals whereas feeding rate is based on visits to the trough. Meal size and meal duration are shown for the first meal after the 15h feed delivery (1st/15h) and for the remaining meals (other).

$2x_{start}$: two deliveries of fresh feed per day during period 1; $2x_{end}$: two deliveries of fresh feed per day during period 4.

In order to evaluate the influence of the addition of fresh feed as compared to the disturbance caused by feed delivery on feeding behaviour, half of the goats received four deliveries of fresh feed (period 2, $4x_{4x}$), while the other half received one fresh delivery followed by three feed stirrings (period 2, $4x_{1x}$). The size of the first meal after each feed delivery or stirring (15:00 h, 19:00 h, 23:00 h and 07:00 h) differed according to the type of delivery: the goats receiving one fresh feed delivery followed by three stirrings in period 2 ($4x_{1x}$) ate a larger 1st meal after the 15:00 h delivery than the goats receiving four fresh deliveries in period 2 ($4x_{4x}$; $t=2.42$, $df=18.4$, $P=0.03$), while the opposite was observed at the other delivery times (**Figure 4**; 19h: $t=-3.99$, $df=17.2$, $P<0.001$; 23h: $t=-3.74$, $df=17.1$, $P<0.01$; 7h: $t=-5.50$, $df=21.6$, $P<0.001$). The same result was observed for the duration of the first meal (data not shown). Nevertheless, the daily feed intake was not different depending on the type of delivery.

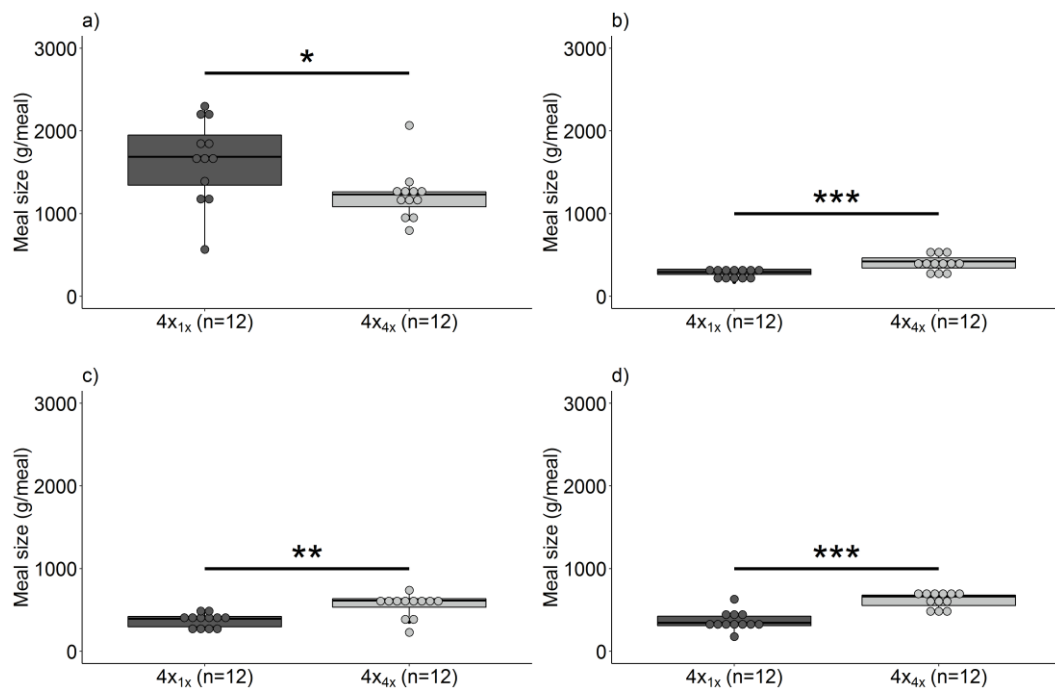


Figure 4. Boxplot (median and 75% quartiles) and individual means of the quantity of feed eaten at the first meal following feed delivery at a) 15:00 h, b) 19:00 h, c) 23:00 h and d) 07:00 h during period 2 where the goats received either one fresh feed delivery followed by three stirrings (4x_{1x}, n=12) or four fresh feed deliveries (4x_{4x}, n=12).

Two of the treatments involved one fresh feed delivery per day (4x_{1x} and 1x), allowing us to investigate the influence on feeding behaviour of stirring the feed. Thus, the rate of change from period 2 (4x_{1x}) to period 3 (1x) for the different feeding behaviour variables is shown in **Figure 5**. When switching from period 2 with stirrings (4x_{1x}) to period 3 without stirring (1x), the goats increased their daily intake by 3%, but obtained their daily intake in 18% fewer meals. The duration and size of the meals other than the 1st one also increased, by 13% and 20%, respectively, and feeding rate did not change.

Spillage was greater when goats received one daily feed delivery, both with stirrings (period 2, 4x_{1x}) and without stirring (period 3, 1x) compared to period 1 with two deliveries per day (2x_{start}; **Table 1**). Comparing periods with two deliveries per day, the feed spillage of period 4 (2x_{end}) was higher than in period 1 (2x_{start}).

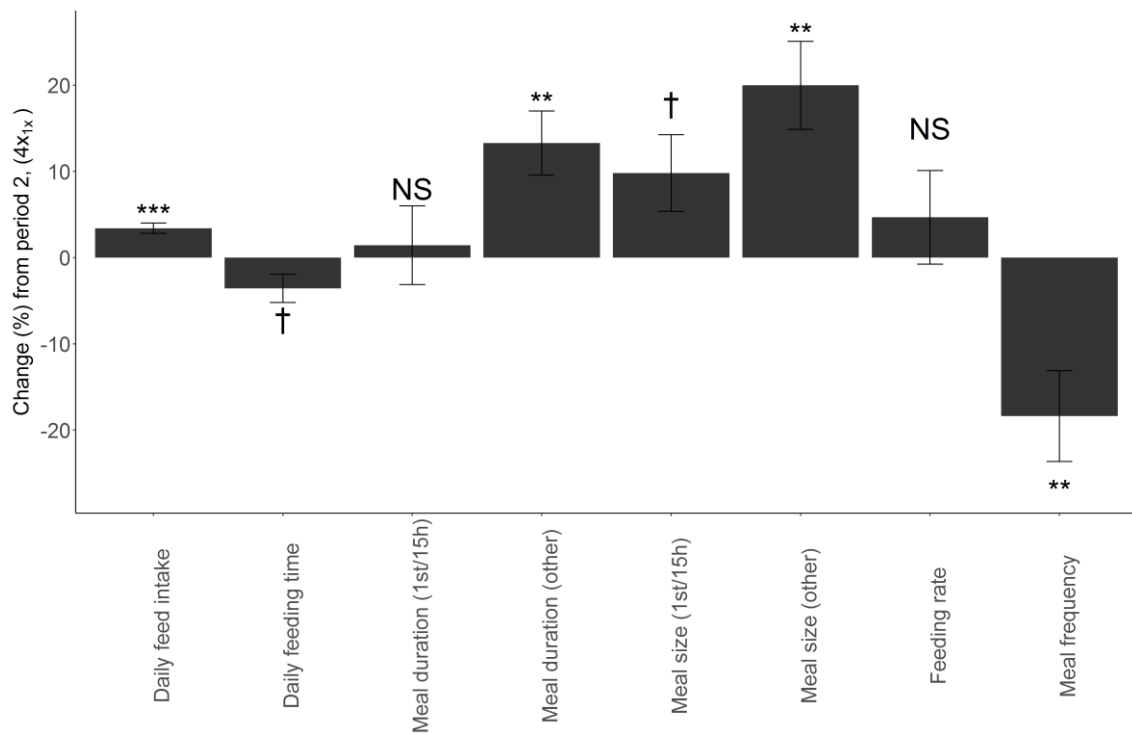


Figure 5. Mean change (% \pm SE) in feeding behaviour variables for dairy goats ($n=11$) from period 2 ($4x_{1x}$) to period 3 ($1x$) calculated as $(100 \times (1x - 4x_{1x}) / 4x_{1x})$

Daily feeding time is based on meals whereas feeding rate is based on visits to the trough. Meal size and meal duration are shown for the first meal after the 15h feed delivery (1st/15h) and for the remaining meals (other).

Asterisks indicate significant changes from the $4x_{1x}$ period (NS non-significant, † tendency, * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$)

$4x_{1x}$: one delivery of fresh feed + three stirrings per day; $1x$: one delivery of fresh feed per day (no stirrings).

Discussion

The goats used in the present study were part of a herd that usually received their diet in two daily feed deliveries. The objectives of this study were to determine whether changes in the frequency of feed delivery would affect the feeding behaviour of dairy goats, and whether different delivery frequencies would affect meal patterns differently. In addition, we wanted to determine the effects on feeding behaviour of adding fresh feed vs. stirring feed in the feeder as well as the effects of stirrings vs no stirring. Our study showed that dairy goats housed in groups changed their feeding behaviour when frequency of delivery changed, with the greatest changes seen when feed delivery was reduced to once a day. The relative ranking of individual goats in terms of their feeding behaviour remained stable

across different feed delivery frequencies, i.e. larger variability among goats than within goats. We also found that stirring the feed in the feeder had little effect on feeding behaviour when the ration was delivered all at once, and that the addition of fresh feed stimulated feeding behaviour more than stirring.

The meal following the first feed delivery is usually longer and bigger than subsequent meals and can be considered as the main meal (Abijaoudé et al., 2000). It has previously been suggested that the first meal or the 90 to 180 min after the 15:00 h delivery can be used to characterise the feeding behaviour of individual goats (Giger-Reverdin et al., 2020; Cellier et al., 2021). In our experiment, all periods had a feed delivery at 15:00 h, making direct comparisons across periods possible. The size and duration of the first meal were greatest when the entire ration was given all at once and smallest with four deliveries. This would indicate that the duration and size of the first meal was affected by the quantity of fresh feed present in the feeder. The larger the quantity of fresh feed available in the trough, the more there is to eat, and it is likely that more sorting occurs when the trough is full. This result is corroborated by the finding that feeding rate was lower when the daily feed allocation was delivered all at once. This could indicate that the goats may have spent more time on sorting when the trough was full. We also found more spillage when delivery was only once a day, also indicating that more sorting had taken place. DeVries et al. (2005) found that the amount of sorting was more important with one delivery than with two deliveries per day. The reduction in the size of main meals seen as feed deliveries increase is also a consequence of just that: more deliveries leading to more (main) meals, resulting in a reduction in the size of the meal at 15:00 h. The increase in the number of deliveries, from one to two deliveries, or from two to four deliveries, did not affect the number of meals per day (NDM). The addition of deliveries therefore did not appear to have a stimulating effect on the feeding frequency of the goats as shown by Robles et al. (2007).

During the last period of the experiment, where 2/3 of the ration was delivered at 15:00 h, the duration and size of the first meal were identical to those of periods with one delivery per day. Although the experiment design did not allow us to test for carry-over effects systematically (i.e. when a previous treatment affects a current treatment), the comparison

of feeding behaviour in period 3 as a function of the two different treatments applied in period 2 (four fresh deliveries vs stirrings), showed no significant effects on feeding behaviour variables, i.e. no influence of the treatment of period 2 on feeding behaviour in period 3. Why did the goats in period 4 not return to their original pattern, i.e. similar to that of period 1? Differences from the first period increased over time to period 3 (1x), where the largest changes were observed, and then decreased in the last period. An increase from two to four deliveries per day and the decrease from four to one delivery per day are large changes, whereas a shift from one to two deliveries per day (at the end of the experiment) is less of a change. The goats may have retained their current feeding pattern upon return to twice-daily feed delivery because the increase in feed delivery frequency was too small to necessitate a change in feeding behaviour.

Although the frequency of feed delivery led to changes in feeding behaviour variables, these appeared to change in a similar manner among goats, so that the individual ranking of goats in terms of feeding patterns did not change to any great extent. This is in agreement with [Hart et al. \(2014\)](#), who did not observe an effect of frequency of delivery on feeding behaviour patterns in dairy cows. In the present study, the goats were in late lactation, and milked only once a day; it may be that for goats in peak lactation, a reduction in feed delivery would have been more challenging. However, previous studies on goats have shown a good repeatability of feeding patterns between different physiological stages ([Giger-Reverdin et al., 2020](#); [Cellier et al., 2021](#)); thus, the effects of changes in feed delivery may have been similar had the goats been tested earlier in lactation.

Regardless of the frequency of feed delivery, our study showed an increase in the daily feed intake (DFI) over time. This increase was unexpected because the nutritional needs of the goats would have been reduced as milk production decreased towards the end of lactation. It is important to note that the gestation was at this time not sufficiently advanced for the foetus to have an important effect on feed intake. Outside temperature was relatively stable between the periods, which would have led to even smaller fluctuations in ambient temperature inside and presumably with no effect on intake. Nevertheless, it should be noted that in our study, we found that spillage was higher when the feed delivery frequency

was once-daily than when there were two or four deliveries per day. Since our data are based on the output of the weight scales, all the feed leaving the feeder was considered as having been ingested. However, a fraction of these quantities is not ingested but spilled. Because the once-daily feed delivery resulted in a very full trough, it was difficult for the goats to prevent spillage. This was reflected in the increase in the DFI when the feed was delivered once, as this was associated with an increase in the size of the first meal following the 15:00 h delivery, i.e., when the feeder was full. However, the estimated increase in spillage did not fully account for the measured increase in DFI over time.

The increase in DFI was accompanied by an increase in the daily feeding time (DFT) as the experiment progressed. It should be noted that this increase, although significant, remained small compared to the daily feeding time recorded during the first period ($2x_{start}$). An increase in daily feeding time is the consequence of either an increase in the number of meals (NDM), or the duration of meals (DUM), or both. The NDM was not influenced by an increase in frequency from two to four feed deliveries per day and was even lower in periods 3 ($1x$) and 4 ($2x_{end}$) compared to period 1 ($2x_{start}$). The increase in DFT was related to the increase in the duration of the first meal after the 15:00 h delivery for periods 2 ($4x_{1x}$), 3, and 4. Again, this could be related to differences in the quantity of feed available in the feeder immediately after feed delivery. When the feeders were full as a result of once-daily delivery, the goats had more feed to sort through and thus spent more time feeding, in contrast to the lower quantities delivered with two and four daily feed deliveries. This first meal tended to be shorter in period 2 ($4x_{4x}$) than in period 1 ($2x_{start}$), and the increase in DFT in period 2 when the goats received four deliveries of fresh feed ($4x_{4x}$) was therefore linked to an increase in the duration of the other meals. Indeed, it is known that the addition of fresh feed stimulates feeding behaviour (DeVries and von Keyserlingk, 2005). In our study, the duration and size of the meals other than the first one also increased when the goats received all the feed in one delivery. This was associated with a reduction in meal frequency, indicating that the goats needed to spend longer consuming each meal, presumably due to more time spent investigating and sorting the feed. It may also be that when fed only once a day, the goats had more frequent, short breaks from feeding, which would have been disguised by the 8-min meal criterion. However, we did not observe this in our data, and the meal criterion was

shorter than what others have found in ruminants (goats: 13 min; sheep: 22 min (Gorgulu et al., 2011); early lactation dairy cows: 28 min (DeVries et al., 2003b); mid- to late lactation dairy cows: 42 min (Tolkamp et al., 1998)).

Comparing the two types of delivery in period 2, i.e. the addition of fresh feed four times or stirring of feed already present in the trough, showed that although the daily feed intake was the same, the addition of fresh feed stimulated feeding behaviour more than any manipulation of the feed already available, as also found by DeVries et al. (2003a) when investigating the effect of push-up of the feed in dairy cows. Nevertheless, our method of stirring the feed did not quite correspond to a push-up, as stirring allows the feed to be completely re-mixed and the feed to rise from the bottom of the trough to the surface, whereas push-ups simply bring the feed closer to the animal. As the feed was enclosed in a trough in our study, enzymatic degradation may have occurred, which could have reduced the quality of the ration. Chemical analyses on feed samples collected at different depths from the trough and at different times of the day are needed to confirm this.

During two of the treatments, the goats were offered the entire ration in a single delivery, with one having the addition of three stirrings. Comparison of these two periods allowed us to study the influence of stirrings on feeding behaviour, and the results showed that feeding behaviour was not massively influenced by feed stirring. Notably, there were more meals with stirrings (4x_{1x}) than without (1x), but these meals were smaller. The addition of feed stirring when the ration is delivered once per day, in addition to being labour intensive, does not affect the feeding behaviour of the animals to any great extent.

In conclusion, our study examined for the first time the effect of changes in the frequency of feed delivery on the feeding behaviour of group-housed dairy goats. We found that different feed delivery frequencies modified feeding behaviour and that a reduction in feed delivery frequency to once daily led to the greatest changes. Fresh feed delivery stimulated more feeding behaviour compared to just stirring the feed already present in the trough, although the daily feed intake was not impacted. Finally, when the feed was delivered once a day, the addition of feed stirring had little effect on the feeding behaviour of the goats.

Ethics approval

The study was carried out in 2018 at the INRAE farm at Thiverval-Grignon, France in accordance with the French legislation on animal experimentation and European legislation on the protection of animals used for scientific purposes (EU Directive 430 2010/63). All experimental procedures were approved by the Animal Welfare Advisory Board of the experimental unit (MoSAR, INRAE) and by the Animal Ethics Committee (No. 45; DAP number 18-06).

Data and model availability statement

The raw data supporting the conclusions of this article will be made available by the authors without undue reservation.

Author contributions

MC was responsible for data acquisition and analysis, and drafted the first version of the manuscript. All the authors made substantial contributions to the idea of the study, experimental planning, data interpretation, and revised earlier versions of the manuscript, and approved the final version.

Declaration of interest

The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgements

The authors gratefully acknowledge Joseph Tessier, Alexandra Eymard, Ophélie Dhumez and the team of the Université Paris-Saclay-INRAE-AgroParisTech UMR Modélisation Systémique Appliquée aux Ruminants (Paris, France) experimental unit for the care of the animals. Marjorie Cellier was supported by the doctoral school ABIES through joint finances from AgroParisTech and INRAE, the latter acting as her employer.

References

- Abijaoudé, J.A., Morand-Fehr, P., Tessier, J., Schmidely, P. and Sauvant, D., 2000. Diet effect on the daily feeding behaviour, frequency and characteristics of meals in dairy goats. *Livestock Production Science* 64, 29–37. doi: 10.1016/S0301-6226(00)00173-1
- Blavy, P., Dhumez, O., Giger-Reverdin, S., Nielsen, B.L. and Friggens, N.C., 2020. A filtering algorithm for accurate determination of feed intake dynamics. *Computers and Electronics in Agriculture* (under review). Accessible at <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02959928/>.
- Cellier, M., Duvaux-Ponter, C. and Nielsen, B.L., 2021. Inter- and intra-individual variability of feeding behaviour in group housed dairy goats. *Applied Animal Behaviour Science* 234, 105167. doi: 10.1016/j.applanim.2020.105167
- DeVries, T.J., von Keyserlingk, M.A.G. and Beauchemin, K.A., 2003a. Short communication: Diurnal feeding pattern of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 86, 4079–4082. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(03)74020-X
- DeVries, T.J., von Keyserlingk, M.A.G., Weary, D.M. and Beauchemin, K.A., 2003b. Measuring the feeding behavior of lactating dairy cows in early to peak lactation. *Journal of Dairy Science* 86, 3354–3361. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(03)73938-1
- DeVries, T.J. and von Keyserlingk, M.A.G., 2005. Time of feed delivery affects the feeding and lying patterns of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 88, 625–631. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(05)72726-0
- DeVries, T.J., von Keyserlingk, M.A.G. and Beauchemin, K.A., 2005. Frequency of feed delivery affects the behavior of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 88, 3553–3562. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(05)73040-X
- Gibson, J.P., 1984. The effects of frequency of feeding on milk production of dairy cattle: An analysis of published results. *Animal Production* 38, 181–189. doi: 10.1017/S0003356100002178
- Giger-Reverdin, S., Duvaux-Ponter, C., Sauvant, D. and Friggens, N.C., 2020. Repeatability of traits for characterizing feed intake patterns in dairy goats: a basis for phenotyping in the precision farming context. *Animal*, 145, 1083–1092. doi: 10.1017/s1751731119002817
- Giger-Reverdin, S., Lebarbier, E., Duvaux-Ponter, C. and Desnoyers, M., 2012. A new segmentation-clustering method to analyse feeding behaviour of ruminants from within-day cumulative intake patterns. *Computers and Electronics in Agriculture* 83, 109–116. doi: 10.1016/j.compag.2012.02.007

Gorgulu, M., Boga, M., Sahinler, S., Kilic, U. and Darcan, N., 2011. Meal criterion and feeding behaviour in sheep and goats. In *Challenging strategies to promote the sheep and goat sector in the current global context* (eds. M. Ranilla, M. Carro, H. Ben Salem and P. Morand-Fehr), pp. 31–34. Zaragoza, CIHEAM/CSIC/Universidad de León/FAO. *Options Méditerranéennes, Série A*.

Hart, K.D., McBride, B.W., Duffield, T.F., and DeVries, T.J., 2014. Effect of frequency of feed delivery on the behavior and productivity of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 97, 1713–1724. doi: 10.3168/jds.2013-7504

Mangiafico, S., 2020. Functions to support extension education program evaluation. R Package.

Mäntysaari, P., Khalili, H. and Sariola, J., 2006. Effect of feeding frequency of a total mixed ration on the performance of high-yielding dairy cows. *Journal of Dairy Science* 89, 4312–4320. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(06)72478-X

Miller, K. and Wood-Gush, D.G.M., 1991. Some effects of housing on the social behaviour of dairy cows. *Animal Production* 53, 271–278. doi: 10.1017/S0003356100020262

Nielsen, B.L., 1999. On the interpretation of feeding behaviour measures and the use of feeding rate as an indicator of social constraint. *Applied Animal Behaviour Science* 63, 79–91. doi: 10.1016/S0168-1591(99)00003-9

Nielsen, B.L., Cellier, M., Duvaux-Ponter, C. and Giger-Reverdin, S. Dairy goats adjust their meal patterns to the fibre content of the diet. *Animal* (under review).

Nydegger, F. and Grothmann, A., 2009. Automatic feeding of cattle. Results of a survey on the state of the art. *ART-Berichte, Switzerland*, 1–8.

Phillips, C.J.C. and Rind, M.I., 2001. The effects of frequency of feeding a total mixed ration on the production and behavior of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 84, 1979–1987. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(01)74641-3

Robles, V., González, L.A., Ferret, A., Manteca, X. and Calsamiglia, S., 2007. Effects of feeding frequency on intake, ruminal fermentation, and feeding behavior in heifers fed high-concentrate diets. *Journal of Animal Science* 85, 2538–2547. doi: 10.2527/jas.2006-739

Shaver, R., 2002. Rumen acidosis in dairy cattle: Bunk management considerations. *Adv. Dairy Technol* 14, 241–249.

Soto-Navarro, S.A., Krehbiel, C.R., Duff, G.C., Galyean, M.L., Brown, M.S. and Steiner, R.L., 2000.

Influence of feed intake fluctuation and frequency of feeding on nutrient digestion, digesta kinetics, and ruminal fermentation profiles in limit-fed steers. *Journal of Animal Science* 78, 2215–2222. doi: 10.2527/2000.7882215x

Sova, A.D., LeBlanc, S.J., McBride, B.W. and Devries, T.J., 2013. Associations between herd-level feeding management practices, feed sorting, and milk production in freestall dairy farms. *Journal of Dairy Science* 96, 4759–4770. doi: 10.3168/jds.2013-6679

Tolkamp, B.J., Allcroft, D.J., Austin, E.J., Nielsen, B.L. and Kyriazakis, I., 1998. Satiety splits feeding behaviour into bouts. *Journal of Theoretical Biology* 194, 235–250. doi: 10.1006/jtbi.1998.0759

Wolak, M., 2016. Facilitating estimation of the intraclass correlation coefficient. R Package

Ce chapitre a pour objectif de discuter les méthodes et les résultats présentés dans les chapitres précédents, mais aussi de développer des recommandations et des perspectives quant à l'étude du comportement alimentaire. Ce chapitre sera donc décomposé en deux parties, la première reposant sur les différentes discussions et les recommandations que je propose, tandis que la deuxième partie abordera quelques pistes de perspectives.

1. Discussion des résultats, des méthodes et recommandations

Cette partie est divisée en quatre. Une première partie sera consacrée au rappel des résultats principaux issus des études présentées dans les **chapitres 3 à 5**. Ensuite, je discuterai des méthodes utilisées puis de quelques résultats. Enfin, afin que ce manuscrit soit utile pour les études futures, je proposerai des recommandations pour l'étude du comportement alimentaire, notamment à l'aide de technologies issues de l'élevage de précision.

1.1. Rappels des résultats

Dans le **chapitre 3**, nous avons confirmé les résultats de [Neaves et al. \(2018b\)](#) qui montraient que les chèvres présentaient des préférences alimentaires en termes de hauteur d'alimentation, mais plus précisément nous avons mis en évidence que ces préférences dépendaient d'une combinaison entre le type d'aliment proposé et la position d'alimentation permise. La préférence de hauteur est donc aliment-dépendante. Un apport de cette étude est également que, contrairement à ce qui était suggéré par [Haschick et Kerley \(1996\)](#), la première mangeoire visitée ne refléterait pas la préférence des chèvres en termes de quantité consommée et de temps passé à manger. Nous avons également observé que lorsque l'aliment le moins appétant, dans notre cas de l'herbe, était proposé, les chèvres passaient plus de temps à changer de mangeoires et à explorer. Enfin, cette étude a également permis de mettre en évidence une grande variabilité inter-individuelle dans les préférences alimentaires des chèvres.

Ensuite, dans le **chapitre 4**, nous avons mis en évidence que chez des chèvres laitières hébergées en groupes, quatre variables du comportement alimentaire (la quantité ingérée, la vitesse d'ingestion, le nombre de repas par jour et la taille des repas) étaient relativement stables pour un individu donné. Au contraire, la variabilité entre les individus était forte. Les variables liées à la durée quant à elles, c'est-à-dire la durée journalière d'ingestion et la durée des repas, semblaient être des variables moins stables, et qui seraient donc moins pertinentes pour caractériser la variabilité individuelle. Enfin, bien que le stade de lactation ait une incidence sur le comportement alimentaire, ce dernier semblait relativement stable d'un jour à l'autre pour un individu donné, et présentait une bonne stabilité entre les stades physiologiques, comme montré précédemment par [Giger-Reverdin et al. \(2019\)](#) chez des chèvres hébergés en cases individuelles.

Enfin, dans le **chapitre 5**, nous nous sommes interrogées sur la flexibilité du comportement alimentaire et notamment sur les capacités d'adaptation des individus soumis à un challenge de modification de fréquence de la distribution de la ration. Nous avons montré que les chèvres laitières hébergées en groupe modifiaient leur comportement alimentaire lorsque la fréquence de distribution changeait, les changements les plus importants étant observés lorsque la distribution de la ration était réduite à une fois par jour. Le classement relatif des chèvres individuelles en termes de profils alimentaires était cependant resté stable au cours des périodes où la fréquence de distribution des aliments était différente. Nous avons également confirmé l'effet stimulant sur l'activité alimentaire de l'ajout d'aliment frais montré par [DeVries et al. \(2003a\)](#) comparé à un simple brassage de la ration dans la mangeoire. Enfin, le faible effet des brassages de la ration sur le comportement alimentaire lorsque l'aliment est distribué une fois par jour a été mis en évidence.

1.2. Discussion des méthodes

1.2.1. La digitalisation et l'automatisation des élevages, une valeur sûre ?

À la lumière des préoccupations croissantes concernant le bien-être des animaux, un intérêt grandissant est constaté pour la digitalisation et l'automatisation de l'agriculture par

le biais des technologies d'élevage de précision (Klerkx et al., 2019).

Bien que l'élevage de précision (PLF) et les technologies qui lui sont associées présentent de nombreux avantages (cf. partie 1.3. du **chapitre 1**), l'emploi du dispositif de PLF des **chapitres 4** et **5** nous a permis de nous rendre compte que l'utilisation de systèmes automatiques d'obtention des données entraînait toutefois quelques contraintes. En effet, même si nos données étaient enregistrées à un pas de temps très court (toutes les deux secondes), et permettait alors de détecter des problèmes pouvant survenir ponctuellement, la vérification de ces données et la détection des anomalies intervenaient à posteriori. À mesure que l'élevage de précision et les technologies associées se développent, il est nécessaire d'améliorer et de mettre en place sur tous les dispositifs des logiciels, des mécanismes de contrôle en temps réel permettant d'alerter lorsque des valeurs aberrantes ou des problèmes sont détectés, des systèmes de gestion de bases de données ainsi que des méthodes statistiques pour l'utilisation de ces données (Neethirajan et al., 2017 ; Koltes et al., 2019). La mise au point d'un système d'alertes informatiques pouvant prévenir de tout dysfonctionnement de notre dispositif est actuellement en cours d'élaboration dans notre unité.

De plus, ces technologies présentent encore quelques difficultés de mises en œuvre dans les exploitations, notamment à cause des conditions qui y règnent. En effet, de nombreuses conditions environnementales doivent être prises en compte comme l'humidité, la poussière ou encore les petits ravageurs nuisibles se trouvant dans les étables (par exemple Berckmans et Norton, 2017). L'utilisation des capteurs nécessite également souvent un réseau filaire, ou du sans-fil mais qui doit pouvoir fonctionner sur de longues distances pour transmettre les données des animaux jusqu'à un ordinateur (Chuanzhong et al., 2017). Parfois, les ingénieurs qui construisent ces systèmes ne sont pas allés physiquement dans une ferme ou n'ont pas travaillé avec des animaux d'élevage, de sorte que les capteurs peuvent être mal réfléchis dans un contexte pratique. Une collaboration accrue entre les agriculteurs, les zootechniciens, les bio-informaticiens entre autres est donc à encourager pour créer des technologies durables et fonctionnelles dans les exploitations agricoles (Koltes et al., 2019). Il est également important de former des experts pour

l'utilisation et l'analyse des données issues de telles technologies (Koltes et al., 2019).

Un autre problème peut provenir des algorithmes créés par les industriels qui sont réticents à les partager. Il est alors difficile de comparer des données issues de capteurs construits par différents fabricants (Papst et al., 2019). Enfin, les agriculteurs peuvent également être hésitants à l'utilisation de ces technologies en raison d'une méfiance à l'égard des capteurs et d'une crainte d'être plus éloignés de leurs animaux (Klerkx et al., 2019).

L'élevage de précision et les technologies qui lui sont associées présentent de nombreux avantages. Ils permettent d'apporter aux éleveurs une aide dans la prise de décision pour le pilotage de l'élevage, et aux chercheurs d'obtenir des informations importantes afin de mieux comprendre, connaître et suivre les animaux. Néanmoins, l'utilisation de notre dispositif a permis de mettre en évidence quelques difficultés quant à l'utilisation de ces technologies. Des améliorations et surtout un travail commun des ingénieurs, chercheurs et éleveurs permettront de développer ce domaine très prometteur.

1.2.2. Une période d'adaptation est nécessaire aux individus pour tout changement dans leur environnement

Les animaux d'élevage sont confrontés à de multiples contraintes et changements environnementaux. Ils doivent alors savoir s'adapter aux différents challenges auxquels ils sont soumis au cours de leur vie, comme la séparation mère/jeune, les ré-allotements, les restrictions/transitions alimentaires, les aléas climatiques, les problèmes sanitaires etc. Ces différents challenges vont solliciter les composantes comportementales mais aussi biologiques des capacités d'adaptation des animaux.

La mise en place des animaux dans les différents dispositifs utilisés dans les études présentées dans ce manuscrit constitue un challenge qui demande un certain temps d'adaptation. En effet, les animaux se retrouvent, dans la plupart des cas, dans un environnement inconnu dont ils doivent apprendre le fonctionnement. Dans ce but, des périodes d'habituation (le terme adaptation est aussi utilisé) ont été mises en place,

notamment pour réduire le stress et son influence possible sur le comportement alimentaire. Les protocoles d'habituation qui ont été utilisés dans nos études sont expliqués dans le **chapitre 2**.

À titre d'exemple, la période d'habituation nécessaire à l'utilisation du dispositif de caractérisation du comportement alimentaire adulte (**chapitres 4 et 5**) impliquait de nombreux apprentissages. Tout d'abord, les chèvres devaient apprendre où se situait leur place. L'un des avantages à héberger les animaux en groupe est que les individus peuvent apprendre les uns des autres, comme par exemple comment et où trouver la nourriture (Emery et al., 2007). Ainsi, la présence de congénères pouvait influencer l'adaptation à ce nouvel environnement, par leur simple présence mais aussi via la facilitation sociale. La simple présence des congénères permettait de limiter les choix possibles pour trouver sa propre station d'alimentation. En effet, dans des groupes de quatre individus, lorsqu'une chèvre est à son emplacement, il ne reste plus que trois possibilités aux chèvres restantes pour trouver la station d'alimentation qui leur est attribuée. Ainsi, les individus qui mémorisent plus rapidement leur emplacement vont permettre de limiter le nombre de places restantes pour les individus qui auraient un processus de mémorisation un peu plus long.

La facilitation sociale, quant à elle, correspond au fait qu'un animal qui mange, s'approche ou manipule des aliments peut accroître l'attention portée à ces aliments et encourager ensuite leur consommation par d'autres individus (Zentall et Galef, 1988). Lors de la première découverte de notre dispositif, les chèvres qui vont s'intéresser rapidement aux stations d'alimentation, vont permettre, via la facilitation sociale, de stimuler et d'entraîner les autres individus à s'intéresser aux mangeoires (**Figure 22**). Il appartient aux recherches futures d'étudier les mécanismes d'apprentissage permettant aux chèvres et aux autres ruminants d'utiliser les informations provenant de congénères voire même d'humains, lorsqu'ils sont confrontés à un nouvel environnement.



Figure 22. Dispositif de caractérisation du comportement alimentaire adulte lorsque toutes les chèvres ont trouvé leur station d'alimentation individuelle (Crédit photo : Ophélie Dhumez).

Les capacités cognitives des chèvres, l'apprentissage et la résolution de problèmes ont déjà été montrées à maintes reprises (Langbein et al., 2007 ; Meyer et al., 2012). Nous n'avons donc pas été surpris de leur facilité d'apprentissage quant à l'ouverture du cornadis. Au quotidien, elles sont confrontées à un cornadis nécessitant d'appuyer la tête dessus pour l'ouvrir. Or dans notre dispositif, la chèvre devait d'abord être reconnue par le système RFID, tête levée, avant de pouvoir ouvrir le cornadis. La période d'adaptation a donc également permis aux chèvres d'apprendre à attendre le bruit inhérent au déblocage du cornadis avant de baisser la tête pour avoir accès à la nourriture.

La mémoire des chèvres est également impressionnante. Briefer et al. (2014) ont montré en soumettant des chèvres à l'apprentissage d'une tâche cognitive que 10 mois après elles résolvaient cette tâche plus rapidement que lors de la première confrontation. Nous avons pu aussi observer que les chèvres non-novices retrouvaient leur place et le fonctionnement de l'ouverture du cornadis très rapidement même après plusieurs mois sans avoir été confrontées au dispositif. Bien que cette mémoire permette de se souvenir du fonctionnement du dispositif, elle pourrait desservir les chèvres lorsqu'il s'agit de se souvenir de l'emplacement attribué dans l'expérimentation précédente. Ainsi, dans nos expérimentations, nous avons essayé au maximum de maintenir la constitution des groupes

entre expérimentations avec les mêmes individus et la même station alimentaire attribuée. Lorsque les chèvres non-novices retournaient dans le dispositif, elles ne rencontraient alors pas de problème d'habituation. On peut néanmoins s'interroger sur la durée nécessaire pour cette habituation si les individus avaient été attribués à des stations d'alimentation différentes, dans le même groupe ou non.

En plus des deux jours où une intervention humaine était nécessaire afin que les chèvres trouvent leur place et assimilent le fonctionnement du dispositif, nous avons choisi de ne pas prendre en compte dans les analyses les premiers jours de chaque période expérimentale. En effet, bien que les variables du comportement alimentaire semblaient se stabiliser très rapidement, le temps minimum d'adaptation était de 2,5 jours dans l'étude présentée au **chapitre 4**, en plus des deux jours avec intervention humaine car : les animaux se connaissaient (mise en groupe une semaine avant le début des mesures), 21 sur les 24 chèvres connaissaient déjà le dispositif et un protocole identique à celui utilisé lors de leur première expérimentation, et les groupes et emplacements attribués avaient été au maximum conservés par rapport à la première expérimentation. Toutes ces mesures ainsi que la rapide stabilité des données nous ont permis de déterminer que 2,5 jours d'adaptation étaient suffisants dans ce cas. Dans la littérature, le nombre de jours d'adaptation à un nouveau dispositif est très variable entre les études, dépendant notamment du questionnement scientifique sous-jacent. En effet, lorsque des paramètres physiologiques ou zootechniques par exemple sont étudiés, les processus d'adaptation sont progressifs et les changements vont mettre un certain temps avant d'être visibles, un temps plus important d'adaptation peut donc être recommandé. Le comportement au contraire est modifié et adapté très rapidement, parfois même sans que les paramètres physiologiques ou zootechniques ne le soient (Veissier, 1996). Le comportement a aussi l'avantage d'être très sensible, spécifique et de varier avec l'intensité de la contrainte imposée à l'animal (Veissier, 1996). Son étude peut donc permettre de détecter de très faibles différences entre des situations. C'est d'ailleurs pour cette raison qu'il est préconisé d'utiliser le comportement comme indicateur de problème de santé, car sa modification, qui peut indiquer une pathologie, est visible plus précocement que les modifications physiologiques (Veissier,

1996). Les indices comportementaux sont donc d'une aide précieuse afin de comprendre comment un individu s'adapte à une nouvelle situation ou un nouvel environnement.

L'élevage de précision entraîne souvent l'utilisation de dispositifs ou de capteurs qui sont inconnus des animaux. Ces derniers doivent alors s'adapter à ce nouvel environnement et à l'utilisation de ces technologies. Pour cela, une période d'adaptation (ou habituation) est absolument nécessaire.

Dans la littérature, le nombre de jours d'adaptation est très variable. Le nombre minimum utilisé dans nos études était de 2,5 jours grâce à la rapide stabilité des données et au fait que les chèvres se connaissaient. Cependant, si des aspects physiologiques étaient étudiés, il aurait fallu une adaptation plus longue.

Les comportements sociaux et notamment la mise en place de la hiérarchie sont également à prendre en compte dans de tels dispositifs hébergeant les animaux en groupe.

Les capacités cognitives des chèvres comme les capacités d'apprentissage, de résolution de problème et de mémoire, sont des éléments importants à prendre en compte afin de proposer à ces animaux les dispositifs les plus adaptés et facilement utilisables.

Enfin, l'adaptation du comportement à des modifications par exemple environnementales est plus rapide que pour les paramètres physiologiques ou zootechniques. Ainsi les indices comportementaux sont des indices pertinents pour comprendre comment un individu s'adapte à un nouvel environnement.

1.2.3. La nécessité d'un accès ad libitum à l'aliment

Afin de phénotyper les chèvres sur leur comportement alimentaire, il est important que la quantité distribuée soit suffisante pour que les animaux puissent exprimer pleinement ce comportement. L'alimentation doit donc être donnée *ad libitum*. Le critère choisi pour *l'ad libitum* est dans de nombreuses études 10 % de refus chaque jour. Lorsque l'on parle d'*ad libitum*, nous devons donc bien définir ce que sous-entend ce terme afin que tous les acteurs impliqués dans l'expérimentation, et dans la lecture de l'article en résultant, puissent

comprendre et appliquer la gestion de l'alimentation définie par le protocole.

À la chèvrerie, la pratique classique était de distribuer la ration en deux distributions par jour pour tenir compte de l'intervalle entre les traites : deux tiers de la ration à la distribution de 15h et un tiers à celle de 7h du jour suivant. Avec cette répartition identique pour toutes les chèvres, nous nous sommes rendu compte que certaines chèvres n'avaient pratiquement pas de refus avant la distribution de 7h, et que les 10% de refus n'étaient présents qu'avant la nouvelle distribution de 15h. L'*ad libitum* n'étant pas totalement respecté, nous avons choisi de modifier la répartition 2/3-1/3 en fonction de chaque chèvre. La première solution a donc été d'augmenter la ration distribuée, tout en gardant la répartition en 2/3-1/3. Cette solution n'était pas viable économiquement sur le long terme car bien qu'elle permettait aux chèvres d'être *ad libitum* à chaque distribution, elle augmentait considérablement la quantité de refus présents avant la nouvelle distribution de 15h, ces refus étant déjà supérieurs à 10 % en temps normal. Cette grosse quantité de refus posait aussi des questions par rapport au tri. En effet, il a été montré que des chèvres qui étaient nourries de façon à avoir près de 25 % de refus ingéraient plus et triaient plus que lorsqu'elles n'avaient que 5 % de refus. Ce tri se caractérisait par une ingestion préférentielle de certains constituants au détriment d'autres (Legarto et al., 2014). La composition de l'ingéré pouvait donc varier entre les individus. Nous avons ensuite choisi de modifier la répartition 2/3-1/3 lors de l'ajustement de la ration afin de pouvoir augmenter une distribution sans modifier la quantité distribuée dans une autre. Cela nous a permis de constater que cette répartition 2/3-1/3 n'était pas adaptée à toutes les chèvres (**Tableau 1**). Ce résultat (non publié) nous permet de souligner l'importance de prendre en compte la variabilité individuelle des animaux.

Tableau 1. Exemple de la répartition de la ration lorsqu'elle est distribuée en deux fois pour les individus testés dans l'étude du **chapitre 5** sur les capacités d'adaptation. Les individus en gras sont ceux pour qui les ratios diffèrent de ceux habituellement utilisés, soit 2/3-1/3, en relation avec l'intervalle entre les traites de 15h et de 7h.

Chèvre	Ratio 15h	Ratio 7h
17177	2/3	1/3
17170	3/4	1/4
17114	2/3	1/3
17034	2/3	1/3
17099	5/7	2/7
17091	5/7	2/7
17171	5/7	2/7
17192	5/7	2/7
17137	5/7	2/7
17020	2/3	1/3
17109	5/7	2/7
17143	2/3	1/3

Afin que les animaux puissent exprimer leur comportement alimentaire sans être restreints, il faut s'assurer qu'ils puissent avoir accès *ad libitum*, c'est-à-dire à volonté, à la ration. Lors de nos études, nous nous sommes rendu compte que le ratio de distribution appliqué habituellement dans notre chèvrerie (2/3 de la ration à la première distribution, 1/3 à la deuxième) ne permettait pas à toutes les chèvres d'être *ad libitum*.

1.2.4. Notion de meal criterion

Dans la littérature, de nombreuses variables sont utilisées pour caractériser le comportement alimentaire, allant de la bouchée à l'ingestion journalière en passant par la visite et le repas. Dans nos études des **chapitres 4** et **5**, nous avons choisi de caractériser le comportement alimentaire en termes de repas et d'ingestion journalière. Un point important est donc de définir ce que nous entendons par repas.

Tolkamp et al. (1998) ont mis en évidence que les visites dans un dispositif

automatique d'alimentation sont enregistrées pour un individu particulier, ayant un accès à un aliment particulier, dont dépendra un grand nombre de facteurs. La place de l'individu dans la hiérarchie du groupe, la présence ou non d'individus « voleurs », la pression exercée par les individus sur chaque mangeoire sont autant d'éléments qui influent sur les visites enregistrées. Le nombre de visites à la mangeoire et leur durée sont également très sensibles aux changements des conditions expérimentales et varient en fonction de la méthodologie utilisée. Ainsi, les auteurs indiquent que l'utilisation des visites pour caractériser le comportement alimentaire doit se limiter au court terme, que leur regroupement en repas est biologiquement plus pertinent, et est donc à privilégier. Néanmoins, la définition d'un repas peut varier d'une étude à une autre, dépend de l'espèce étudiée mais également de la méthodologie utilisée pour obtenir les données de base. Par exemple, [Abijaoudé et al. \(2000a\)](#) ont défini dans leur étude sur des chèvres des repas principaux et des repas secondaires. La fin d'un repas principal était fixée lorsqu'une période de non-ingestion d'au moins 20 minutes avait commencé. Cette valeur correspond à la première plus petite période de non-ingestion rencontrée après la distribution des repas. La détermination des repas secondaires étant plus difficile, ils ont été définis comme toute ingestion dépassant 150 g et/ou 5 min de temps. [Landau et al. \(2000\)](#) quant à eux ont défini chez des génisses le repas comme une période de temps pendant laquelle le seul comportement observé était de garder la tête dans la mangeoire, mais comprenant des interruptions pendant lesquelles les génisses relevaient la tête pendant moins de 20 secondes. Certains critères de repas ont donc pu être choisis de manière arbitraire, tandis que d'autres se basent sur des outils statistiques variés. [Tolkamp et al. \(1998\)](#) ont ainsi développé une méthode d'estimation de critère de repas que nous avons utilisée dans nos études (cf. partie 4 du **chapitre 2** pour plus de détails). Lorsque nous avons appliqué ce modèle sur nos données nous n'avons trouvé qu'une seule courbe log-normale qui se terminait par un plateau net, contrairement aux deux courbes observées par [Tolkamp et al. \(1998\)](#). Une première explication à cette absence de deuxième courbe peut provenir du fait que nous avons beaucoup moins de données par rapport aux études de [Tolkamp et al. \(1998 ; Tolkamp et Kyriazakis, 1999\)](#), avec par exemple l'étude de [1998](#) qui a été réalisée sur 16 vaches enregistrées pendant 30 jours. 80 % des intervalles étaient alors retrouvés dans la première courbe, contre 20 % dans la

deuxième. Ainsi, un faible nombre d'intervalles pourrait expliquer l'absence de cette deuxième courbe.

Après avoir observé la distribution des fréquences sur plusieurs chèvres et sur plusieurs jours, nous avons remarqué que le critère de repas était relativement stable, aux alentours de 8 minutes. Nous avons donc décidé d'appliquer ce critère à l'ensemble des chèvres. Ce critère nous semblait biologiquement cohérent pour une chèvre qui devait par exemple quitter sa station d'alimentation, aller à l'abreuvoir, boire et revenir continuer de manger à sa station. En comparaison avec la littérature, ce critère de repas de 8 minutes reste plus court que celui précédemment établi pour des chèvres et d'autres ruminants, par exemple 13 minutes chez des chèvres et 22 minutes chez des moutons (Gorgulu et al., 2011), 28 minutes chez des vaches en lactation (DeVries et al., 2003b) ou encore de 42 min chez des vaches en milieu ou fin de lactation (Tolkamp et al., 1998).

De nombreuses définitions de repas sont retrouvées en fonction des auteurs et des études. Dans nos études, nous avons choisi d'utiliser un critère de repas de 8 minutes suivant la méthode décrite par Tolkamp et al. (1998). Bien que ce critère soit plus court que ceux communément retrouvés dans la littérature, il nous semble biologiquement cohérent et plus restrictif dans la définition des repas.

En résumé, la discussion des méthodes issues des trois études présentées dans ce manuscrit permet de mettre en évidence que :

- La digitalisation et l'automatisation de l'agriculture, grâce aux technologies de l'élevage de précision, a un grand potentiel pour répondre aux préoccupations croissantes de la société. Bien entendu, aucune avancée majeure ne va sans inconvénients. L'élevage de précision et les technologies associées ne sont encore qu'à leurs débuts, et malgré des problèmes qui devront être résolus, cela reste un domaine très prometteur.
- Mieux comprendre la façon dont les chèvres perçoivent et gèrent leur environnement social et physique est d'une réelle importance dans les futures études. Les connaissances des mécanismes d'apprentissage d'un individu, de sa compréhension de l'environnement et de ses capacités d'adaptation pourraient fournir des informations précieuses afin de concevoir des dispositifs plus adaptés, plus faciles d'utilisation et moins stressants pour les animaux. En outre, en identifiant ces mécanismes, nous pourrions également mieux comprendre comment habituer les animaux à de nouveaux environnements ou dispositifs.
- Le phénotypage des individus sur leur comportement alimentaire passe par une expression non restreinte de ce comportement. Dans ce cadre, il faut que l'alimentation soit donnée *ad libitum* tout au long de la journée, à toutes les chèvres. Ainsi, la variabilité individuelle dans la répartition de l'ingestion au cours de la journée doit être prise en compte.
- Lorsqu'on souhaite regrouper les visites à la mangeoire en repas, il est important de bien définir le critère des repas. En effet au regard de la diversité des critères de repas qui peuvent être employés dans la littérature, les comparaisons entre études doivent être réalisées avec prudence.

1.3. Discussion des résultats

1.3.1. Les préférences alimentaires des chèvres

Cette partie est consacrée à la discussion des résultats obtenus dans l'étude présentée au **chapitre 3**.

Un des résultats principaux du **chapitre 3** est que les préférences alimentaires des chèvres sont aliment-dépendantes. Nous avons effectivement pu confirmer les résultats de [Neave et al. \(2018b\)](#) qui montraient que les chèvres avaient une préférence pour manger dans des mangeoires en hauteur, quand de l'herbe était présente dans les deux mangeoires. Il est d'ailleurs courant dans le milieu naturel de voir des chèvres en équilibre sur les pattes arrière pour atteindre des aliments en hauteur (**Figure 23A**) ou perchées dans des arbres (**Figure 23C**). Elles peuvent aussi avoir les pattes surélevées, en appui, pour attraper l'aliment (**Figure 23B**).

Nous nous sommes donc interrogés plus précisément sur les déterminants de cette motivation à manger en hauteur. Nous avons ainsi mis en évidence qu'elle venait à la fois de la position d'alimentation et du type d'aliment offert, mais ne provenait cependant pas du fait d'être simplement surélevé du sol. Il est intéressant de noter que les chèvres ne rejetaient pas la mangeoire au niveau du sol, mais qu'elles répartissaient leur ingestion d'aliment entre les différentes hauteurs d'alimentation proposées. Cette information confirme l'intérêt de présenter dans les élevages plusieurs options d'alimentation avec différentes hauteurs de mangeoire et des types d'aliments diversifiés afin de permettre aux chèvres d'exprimer leur comportement naturel ce qui contribue à combler leurs attentes comportementales et ainsi pouvoir améliorer leur bien-être. À noter que les caractéristiques nutritionnelles des différents aliments proposés sont à prendre en compte afin de satisfaire les besoins des animaux.

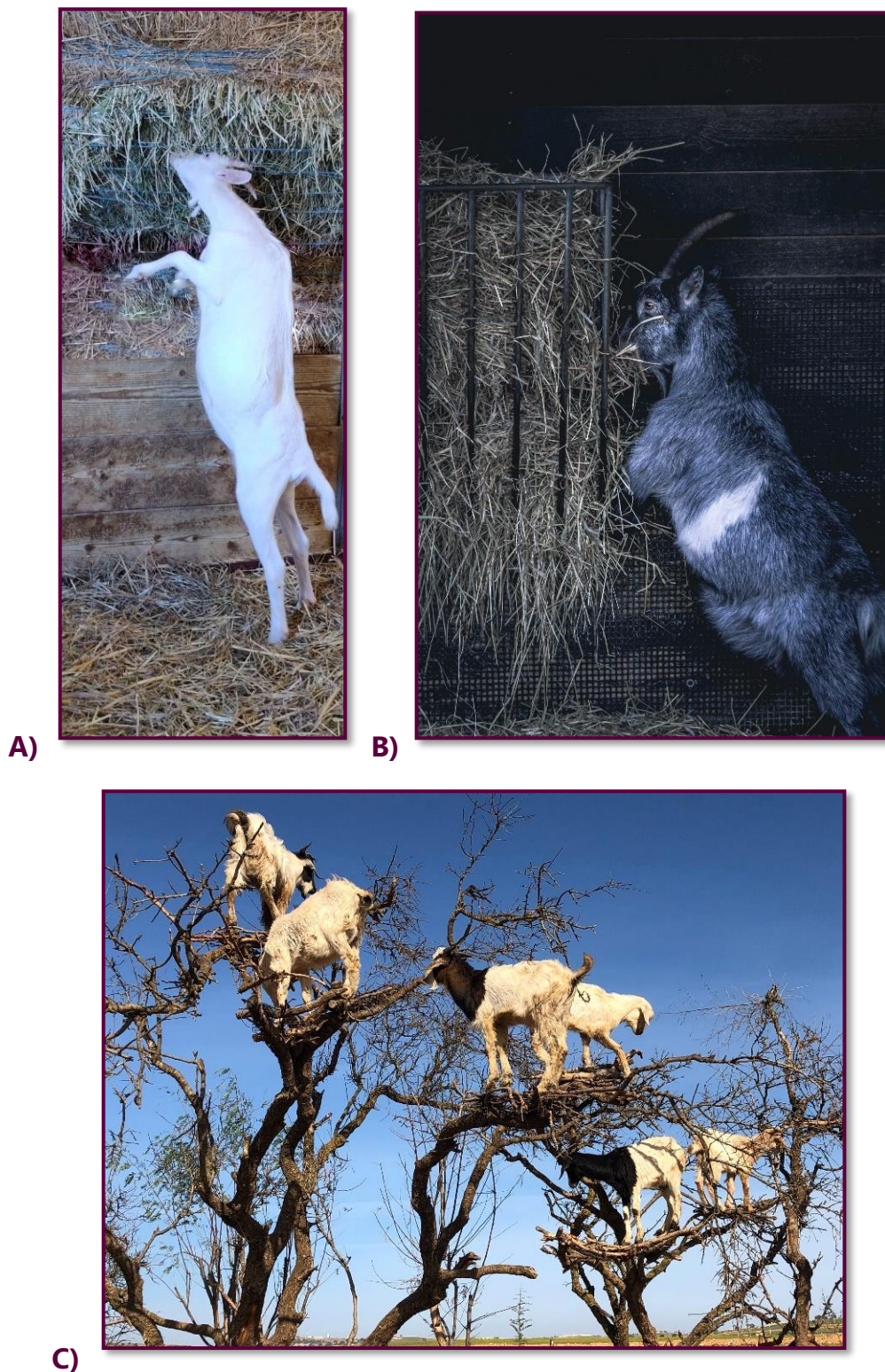


Figure 23. Photographies représentant différentes postures d'alimentation des chèvres. A) En équilibre sur les pattes arrière (Crédit photo : Marjorie Cellier, photo personnelle) ; B) Les pattes avant surélevées, en appui (Crédit photo : Martin Skarregaard sur Unsplash) ; C) Perchées dans un arbre (Crédit photo : Steven Feldman sur Unsplash)

Notre étude a également permis de mettre en évidence que la première mangeoire visitée n'est pas forcément la mangeoire préférée en termes de quantité consommée et de temps passé à consommer. En effet, bien que la mangeoire au niveau du sol soit visitée en premier quand des feuilles s'y trouvaient, lorsque l'on proposait des feuilles également dans la mangeoire en hauteur, les chèvres ne présentaient pas de préférence. Cela pourrait être un effet lié à notre dispositif. Effectivement, la mangeoire au niveau du sol était la plus proche du niveau des yeux et la plus facilement accessible. De plus, [Dziba et al. \(2003\)](#) ont montré que le fait de se nourrir à des niveaux élevés était coûteux en énergie. Une meilleure accessibilité et peu coûteuse en énergie pourrait justifier que les chèvres s'intéressaient en premier à la mangeoire au niveau du sol. L'absence de préférence en termes de quantité consommée et de temps passé à consommer reflète alors le fait que certaines chèvres, après avoir visité la mangeoire au niveau du sol, changeaient de mangeoire tandis que d'autres y restaient. Ce résultat pourrait indiquer des différences individuelles dans la préférence de hauteur d'alimentation et notamment dans le choix du coût/bénéfice pour avoir accès à la ressource.

L'étude de [Neave et al. \(2018b\)](#) a également mis en évidence que les chèvres étaient plus compétitives pour accéder à la mangeoire en hauteur. Dans notre expérimentation, les chèvres étaient testées seules. L'influence sociale ne pouvait donc pas intervenir dans les préférences alimentaires que nous avons observées. Il serait néanmoins intéressant de refaire notre expérimentation avec plusieurs chèvres simultanément afin de prendre en compte les comportements sociaux et leur influence sur les préférences alimentaires. On peut effectivement supposer que les résultats ne seraient pas les mêmes, notamment avec les feuilles, car les chèvres pourraient être plus compétitives à la fois à cause de la hauteur d'alimentation et de l'aliment très appétant proposé. Dans le cas d'une telle étude, l'espace disponible à chaque mangeoire pour chaque chèvre ne devrait pas être négligé. En effet, le fait que les deux types de mangeoires entraînent des positions d'alimentation différentes est à prendre en compte. À titre d'exemple, les chèvres qui se nourrissent dans la mangeoire au sol doivent écarter un peu les pattes afin de pouvoir atteindre toute la nourriture ([Keil et al., 2017](#)). Cette position d'alimentation réduit alors l'espace disponible au niveau de cette

mangeoire et cette réduction de l'espace alloué peut jouer un rôle sur les comportements sociaux. Il serait ainsi intéressant de comprendre comment la compétition pourrait affecter les préférences alimentaires individuelles.

Un des résultats principaux quant aux préférences alimentaires est qu'elles sont aliment-dépendantes. Néanmoins, les chèvres ne présentaient pas une préférence exclusive mais répartissaient leur ingestion sur les différentes hauteurs d'alimentation proposées.

Nous avons également constaté que, d'un point de vue méthodologique, la première mangeoire visitée n'était pas forcément la mangeoire préférée, et que les chèvres exploraient les différentes mangeoires.

Des différences individuelles dans les préférences de hauteur d'alimentation et dans le choix du coût/bénéfice pour avoir accès à la ressource ont également été mises en évidence.

Enfin, notre étude a été réalisée avec des individus isolés. Il serait intéressant de refaire une même étude mais avec plusieurs individus afin d'étudier l'effet des comportements sociaux sur les préférences individuelles.

1.3.2. La variabilité individuelle du comportement alimentaire

L'étude des préférences alimentaires du **chapitre 3** a montré la présence d'une forte variabilité inter-individuelle concernant la position d'alimentation et le type d'aliment ingéré. La variabilité individuelle a été étudiée plus en détail dans le **chapitre 4**. Cette étude a tout d'abord montré que les chèvres présentaient une ingestion journalière très stable d'un jour à l'autre. Pour obtenir une ingestion journalière donnée, les individus peuvent faire varier le nombre de repas qu'ils réalisent ou la taille de ces repas ou bien les deux (Nielsen, 1999). Pour certains individus, nous avons observé une certaine variabilité intra-individuelle pour le nombre et la taille des repas, bien que celle-ci soit faible. De nombreux facteurs, détaillés dans la partie 1.1.3. du **chapitre 1**, peuvent entrer en jeu, et ainsi faire sensiblement varier la stratégie alimentaire utilisée par les individus d'un jour à l'autre pour obtenir leur apport journalier. À titre d'exemple, l'environnement social pourrait être un de ces facteurs. Bien

que la compétition était limitée du fait de l'attribution d'une station par individu et de l'utilisation de bat-flancs, d'autres comportements sociaux pouvaient avoir lieu. On pourrait alors s'interroger sur le rôle de mécanismes tels que la facilitation sociale ou la synchronisation des individus dans un groupe et leur influence sur le comportement alimentaire. Nous avons constaté que les animaux présentaient des profils alimentaires différents au sein d'un même groupe (résultats non présentés) et que la synchronisation semblait plutôt liée à la distribution de la ration (résultats préliminaires non présentés). Bien qu'il soit admis que les comportements sociaux influencent le comportement alimentaire (par exemple DeVries et al., 2004), ils ne semblent pas faire varier considérablement les profils inhérents à chaque individu. L'étude des comportements sociaux dans le cadre de chèvres hébergées en groupe permettrait tout de même de comprendre leur influence éventuelle sur la variabilité du comportement alimentaire individuel.

Une question sous-jacente à la présence d'une forte variabilité individuelle menant aux différents profils alimentaires se pose quant à la composition des groupes dans un même élevage. Effectivement, il convient de s'interroger sur la pertinence de composer un troupeau avec des individus présentant uniquement le même profil alimentaire ou avec un mélange de ces individus. Afin de répondre à cette question, il est nécessaire de relier les profils alimentaires à différents facteurs, et notamment aux capacités d'adaptation des individus qui permettent aux élevages d'être à la fois productifs, adaptables et résilients. La flexibilité du comportement alimentaire et les capacités d'adaptation des individus sont discutées plus loin.

Peu de données sont actuellement disponibles sur la variabilité individuelle du comportement alimentaire. Elle a fait l'objet de peu d'expérimentations, probablement en raison de la complexité des dispositifs expérimentaux (dispositif adéquat, nombre élevé d'animaux nécessaire, répétition dans le temps etc). La variabilité individuelle est d'ailleurs encore relativement peu prise en compte dans l'interprétation des résultats des expérimentations, alors qu'elle pourrait permettre de comprendre des phénomènes biologiques sous-jacents. Desnoyers et al. (2008) par exemple ont montré qu'il était possible d'expliquer au moins en partie les problèmes d'acidose grâce à l'observation des

comportements alimentaires individuels extrêmes. De plus, l'émergence de nouvelles pratiques dans les élevages et le développement de l'élevage de précision constitue une opportunité pour approfondir les connaissances autour de la variabilité individuelle qui pourrait être une source potentielle de résilience. Des informations et connaissances sur les niveaux de variabilité individuelle d'un troupeau permettant d'accroître cette résilience sont alors nécessaires. Enfin, des connaissances afin d'émettre des recommandations aux éleveurs sur la gestion de cette variabilité individuelle sont indispensables.

Une variabilité inter- et intra-individuelle du comportement alimentaire a été relevée. De nombreux facteurs peuvent entrer en jeu, comme l'environnement social. Bien que notre dispositif limitait au maximum la compétition à la mangeoire, d'autres comportements sociaux comme la facilitation sociale ou la synchronisation pourraient intervenir. Il serait donc intéressant d'étudier les comportements sociaux et leur influence éventuelle sur le comportement alimentaire.

La variabilité inter-individuelle était plus importante que la variabilité intra-individuelle. Ainsi, les individus présentaient des stratégies d'alimentation différentes pour maintenir leur apport alimentaire journalier. La présence de ces différents profils permet de s'interroger en termes de composition des groupes au sein d'un élevage. Il semble alors intéressant de relier les profils alimentaires à des capacités d'adaptation différentes.

1.3.3. La stabilité du comportement alimentaire

L'étude réalisée au **chapitre 4** nous a également permis d'étudier la stabilité du comportement alimentaire. Nous avons ainsi confirmé sa bonne stabilité entre les stades physiologiques, mise en évidence par [Giger-Reverdin et al. \(2020\)](#) chez des chèvres hébergées individuellement. Les résultats soulignent le fait que, bien que les besoins des animaux évoluent physiologiquement, la stratégie alimentaire mise en place pour obtenir l'apport journalier nécessaire pour répondre aux besoins ne semblait pas varier. Ce résultat nous permet d'envisager de caractériser le comportement alimentaire à des stades physiologiques précoces, ce qui pourrait permettre de sélectionner les individus les mieux

adaptés et adaptables à l'élevage et à sa gestion.

Le comportement alimentaire présente une stabilité entre différents stades physiologiques. Ainsi, bien que les besoins soient différents, les stratégies alimentaires mises en place restent les mêmes. Il serait alors intéressant de mener des études sur le long terme afin de confirmer cette stabilité du comportement alimentaire au cours de la carrière des animaux.

1.3.4. La flexibilité du comportement alimentaire

L'étude du **chapitre 5** a quant à elle permis d'étudier la flexibilité du comportement alimentaire et les capacités d'adaptation des individus, en les soumettant à un challenge alimentaire : une modification de la fréquence de distribution de la ration.

Cette étude est, à notre connaissance, la première sur cette problématique chez des chèvres laitières hébergées en groupe. En effet, peu d'études se sont intéressées à un changement de la fréquence de distribution de la ration et elles ont été majoritairement réalisées chez les vaches laitières. De manière générale, les chèvres sont moins étudiées que les vaches. Pourtant, la production caprine est en pleine essor et la chèvre est parfois utilisée comme animal modèle de la vache du fait de leurs similarités anatomiques et physiologiques, et elle présente de nombreux avantages. En effet, du fait de leur plus petite taille, leur plus facile manipulation, leur coût d'entretien moindre, leur temps de gestation plus court et la possibilité d'avoir un nombre plus important d'individus dans un espace limité, les chèvres permettent une approche expérimentale simplifiée. Une attention particulière pourrait donc être accordée à ces animaux. Les quelques études réalisées sur les vaches sur les fréquences de distribution ont donné des résultats variés (Gibson, 1984 ; Nocek et Braund, 1985). Cela peut être attribué à des protocoles expérimentaux différents, notamment en termes de races utilisées, des mesures réalisées, du système de logement, de la génétique des individus, du stade physiologique, de la parité, de la durée de la période d'observation, de la composition du régime utilisé etc.

Un des résultats de notre étude est que les profils alimentaires semblaient stables suite à la modification de la fréquence de distribution de la ration. Nous avons fait

l'hypothèse que les chèvres dites « voraces », qui réalisent peu de repas par jour mais de gros repas, auraient plus de difficultés à s'adapter à des distributions fréquentes. Ainsi on pouvait s'attendre à ce que les stimulations liées à l'apport de nourriture les incitent à réaliser des repas plus fréquents et à ce que leur profil alimentaire évolue vers celui des « grignoteuses ». Le fait que les profils alimentaires ne soient pas modifiés peut nous laisser supposer que le rythme de quatre distributions par jour, qui est le rythme maximum que nous leur avons imposé, n'est peut-être pas suffisant pour contraindre les animaux à s'adapter. Une étude avec des fréquences de distribution encore plus élevées pourrait permettre d'infirmier ou de confirmer cette stabilité du profil alimentaire.

Les changements les plus importants que nous avons observés par rapport à la fréquence habituellement utilisée dans notre chèvrerie expérimentale (deux distributions par jour) étaient obtenus lorsque la ration était distribuée en une seule fois. Néanmoins, en plus de la modification de la fréquence de distribution, la quantité présente dans la mangeoire était aussi différente entre les fréquences. On aurait pu conclure que les changements de comportement alimentaire étaient liés non pas aux changements de fréquence de distribution mais plutôt à la modification de la quantité d'aliment disponible dans la mangeoire. Une autre étude utilisant la même quantité d'aliment à chaque distribution, quelle que soit la fréquence, pourrait permettre d'étayer cette hypothèse. Cela entraînerait cependant des refus en quantités élevées et donc un coût important.

Enfin, un dernier point est que notre étude n'a pas pu s'affranchir de l'environnement ambiant, c'est-à-dire de l'activité dans la chèvrerie autour du reste du troupeau. Lorsque les chèvres recevaient une seule distribution par jour, soit à 15h après la traite, elles présentaient un pic d'activité alimentaire aux alentours de 7 heures du matin, probablement lié à l'activité de la chèvrerie et au fait que les autres chèvres du troupeau étaient traitées et alimentées deux fois par jour. Tester cette hypothèse serait impossible dans notre chèvrerie car le dispositif expérimental et le troupeau se trouvent dans le même bâtiment. D'autres stations expérimentales pourraient peut-être avoir la configuration nécessaire pour isoler les individus testés, et ainsi limiter les influences extérieures.

Cette étude est la première, à notre connaissance, étudiant le comportement alimentaire de chèvres laitières hébergées en groupe lorsqu'elles sont soumises à un challenge alimentaire.

Les chèvres ont présenté des profils alimentaires stables à la suite de la modification de la fréquence de distribution de la ration, cette modification de la fréquence n'étant probablement pas suffisante pour modifier les profils.

L'environnement ambiant de la chèvre, dans notre cas la gestion du reste du troupeau, pourrait avoir influencé le comportement alimentaire des chèvres.

En résumé, la discussion des résultats issus des trois études présentées dans ce manuscrit permet de mettre en évidence que :

- Connaître les préférences alimentaires, et notamment savoir qu'elles ne dépendent pas uniquement de la hauteur d'alimentation mais aussi du type d'aliment proposé, nous permet d'envisager que les élevages puissent proposer divers types de mangeoires ainsi qu'une alimentation diversifiée afin que les chèvres puissent exprimer leur comportement alimentaire naturel dans le but de combler leurs besoins et leurs attentes et ainsi contribuer à améliorer leur bien-être en élevage.
- Le comportement alimentaire présente une variabilité inter-individuelle importante, bien qu'encore peu prise en considération dans l'interprétation des résultats. Le développement de l'élevage de précision et des technologies associées constitue une opportunité pour mieux comprendre la variabilité individuelle et proposer des solutions afin de mieux l'intégrer dans la gestion du troupeau.
- La stabilité du comportement alimentaire entre stades physiologiques pourrait permettre une caractérisation précoce de ce comportement et ainsi servir d'indicateur pour la sélection des individus à garder dans les élevages ou pour la gestion des pratiques d'élevage.
- Compte tenu du contexte instable auquel les élevages doivent faire face, les capacités des animaux à s'adapter à des environnements changeants sont déterminantes pour assurer la durabilité de l'élevage. La compréhension et l'évaluation de ces capacités adaptatives semblent donc indispensables.

1.4. Recommandations et pistes de réflexion pour les futures utilisations du dispositif de caractérisation du comportement alimentaire chez l'adulte

Le dispositif que nous avons utilisé dans les études présentées aux **chapitres 4 et 5** a été installé en 2017, soit au début de ma thèse. Cette installation récente a fait que j'ai pu être sa première utilisatrice. J'ai ainsi été au centre des premières réflexions quant à son utilisation, ses améliorations et son adaptation aux chèvres. Cette expertise me permet aujourd'hui de présenter quelques recommandations et pistes de réflexion à la chèvrerie pour l'utilisation en routine, et aux prochains utilisateurs dans le cadre d'expérimentations futures.

Une première recommandation concerne l'adaptation des chèvres au dispositif. En effet, nous avons vu en testant plusieurs fois les mêmes individus que les chèvres ont une bonne mémoire à la fois de l'emplacement qui leur a été attribué et du fonctionnement pour l'ouverture du cornadis. Je conseillerais donc, dans la mesure du possible, de prendre en compte la connaissance du dispositif des chèvres dans l'attribution des emplacements. Nous avons également remarqué (remarques personnelles) que lorsque des chèvres novices étaient en groupe avec des chèvres non-novices, c'est-à-dire ayant déjà été confrontées au dispositif, les chèvres novices trouvaient plus rapidement l'emplacement qui leur était réservé que si elles se trouvaient dans un groupe composé exclusivement de novices. Placer une ou plusieurs chèvres non-novices dans un groupe de chèvres novices pourrait permettre à ces dernières de s'adapter plus rapidement au dispositif.

La mémoire des chèvres pourrait néanmoins les pénaliser lorsque l'emplacement qui leur est attribué est modifié lors d'une expérimentation ultérieure. Il faudrait pouvoir tester la réversibilité de la mémoire des chèvres et prendre en compte ce critère dans le choix du temps d'adaptation. Les résultats de cette étude pourraient faire l'objet d'un paragraphe dans le protocole d'adaptation rédigé pour l'utilisation du dispositif (**Annexe 3**).

Une utilisation en routine, c'est-à-dire pour phénotyper les chèvres hors protocoles expérimentaux, est aussi en cours. En effet, ce phénotypage de routine pourra permettre à l'unité d'acquérir une base de données conséquente sur le comportement alimentaire des

chèvres mais aussi sur leurs performances et permettre des études longitudinales. Le lien entre comportement alimentaire et performances, bien qu'il ne soit pas l'objet de cette thèse, pourra être étudié en détails grâce aux données déjà recueillies et ainsi remplir un des objectifs du projet de l'unité MoSAR. Les données déjà recueillies et les données futures pourront aussi servir aux modélisateurs afin de créer de nouveaux modèles, mais aussi pour valider les modèles déjà réalisés. De plus, cette base de données individuelles pourra permettre de réaliser des comparaisons, par exemple inter-générationnelles. En effet, la généalogie de tout le troupeau est parfaitement connue. Ainsi, à terme, la composante génétique pourrait être étudiée et cela pourrait ouvrir des collaborations avec des généticiens d'autres équipes de recherche.

2. Quelques perspectives de recherche

2.1. Qu'en est-il de la rumination ?

Nos études se sont concentrées sur le comportement alimentaire en termes de préférences et d'ingestion. Néanmoins, une part importante du comportement alimentaire chez les ruminants que nous n'avons pas traitée concerne la rumination. L'élevage de précision peut permettre la mesure de la rumination grâce à différents capteurs, comme par exemple des colliers (par exemple [Grinter et al., 2019](#)) ou encore des licols avec mesure de pression (par exemple [Zehner et al., 2017](#)). Une perspective intéressante est l'utilisation d'accéléromètres. À l'unité MoSAR, un groupe de travail a été mis en place afin d'étudier l'utilisation d'accéléromètres pour mesurer la rumination des chèvres. Pour cela, les capteurs ont été positionnés sur leurs oreilles (**Figure 24**).



Figure 24. Photographie d'un accéléromètre positionné sur l'oreille d'une chèvre dans le but d'enregistrer la rumination (Crédit photo : Ophélie Dhumez).

En effet, les oreilles des animaux bougent rythmiquement avec les mouvements de mâchoire pendant la rumination. Ainsi, il est possible d'obtenir des données représentant le profil de rumination de l'animal. Ces données montrent clairement les périodes de mastication d'environ une minute entrecoupées par de courtes pauses au cours desquelles le bol alimentaire (ou la salive) est avalé et/ou régurgité (**Figure 25**).

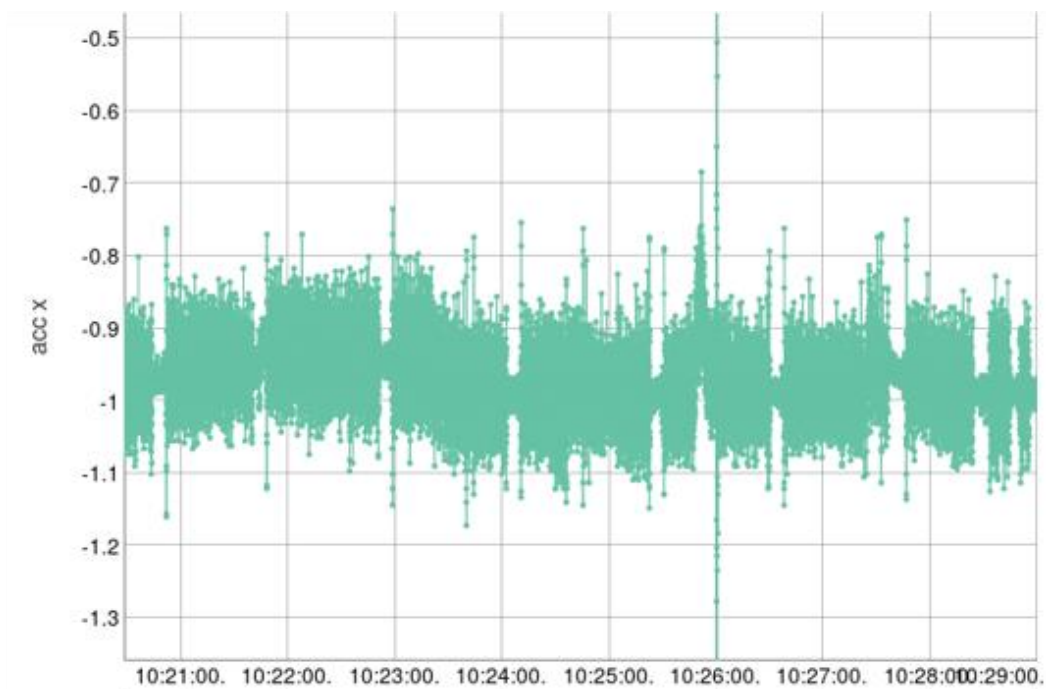


Figure 25. Représentation de l'accélération sur l'axe x en fonction du temps. Les périodes d'environ une minute de mastication entrecoupées de moment d'ingestion/régurgitation sont bien marquées. (Crédit photo : Pierre-Emmanuel Robert).

Le développement de l'algorithme pour analyser les données issues de ces capteurs est actuellement en cours d'élaboration, et l'utilisation de capteurs a déjà été validée chez les vaches (Hill et al., 2017 ; Reiter et al., 2018). De futures études couplant les accéléromètres aux mesures d'ingestion en stations individuelles permettront de compléter le phénotypage des chèvres sur l'ensemble du comportement alimentaire. Les accéléromètres permettront de plus, à terme, de mesurer le budget-temps des animaux.

La rumination est une composante importante du comportement alimentaire. L'utilisation d'accéléromètres positionnés sur les oreilles des chèvres pourrait permettre de la caractériser. À terme, les accéléromètres couplés aux mesures du comportement alimentaire permettraient d'obtenir le budget-temps global des animaux.

2.2. L'élevage de précision et les mesures du comportement peuvent-ils être mis au service du bien-être animal ?

À partir des années 1950, l'agriculture, dont l'élevage, a été fortement modifiée. La conduite des animaux, le logement ou encore l'alimentation ont été améliorés sur la base des connaissances scientifiques produites. Le phénotype des animaux d'élevage a été fortement modifié en raison d'une sélection génétique fortement axée sur les caractères de production. L'intensification de l'activité de production a de plus modifié l'environnement dans lequel les animaux sont élevés. Cela a eu de fortes conséquences sur l'animal, et notamment sur la perception de la situation dans laquelle l'animal est placé. Ces conséquences ont largement été mises de côté, conduisant à des situations extrêmes ayant potentiellement un impact négatif sur le comportement et le bien-être des animaux d'élevage. On peut citer à titre d'exemple les conditions microclimatiques inadaptées (par exemple une température et une humidité élevées, ou une mauvaise ventilation en bâtiments), l'absence d'enrichissement ne permettant donc pas l'expression de comportements naturels, une densité d'animaux trop élevée etc (Le Neindre et al., 2014). Actuellement, une nouvelle révolution est en marche : la révolution numérique. Comme nous

l'avons discuté précédemment de nombreux capteurs sont développés dans le cadre de l'élevage de précision afin d'aider les éleveurs dans la gestion de leur élevage. Les avantages de ces outils sont nombreux. Ils permettent entre autres un suivi en continu sans intervention humaine directe, la possibilité de détecter des anomalies et d'envoyer des alertes à l'éleveur en temps réel ou presque. Toutes les données générées par les capteurs représentent des informations importantes pour surveiller et améliorer la satisfaction des besoins physiologiques, comportementaux et des attentes des animaux. Le comportement et notamment ses changements sont particulièrement utiles en élevage de précision, notamment car ils peuvent traduire un problème de santé (De Boyer des Roches et al., 2017 ; Steensels et al., 2017). Un individu malade s'isolera de ses congénères, et les comportements de jeux ou de toilette diminueront (Mandel et al., 2017). Les changements du rythme journalier d'activité peuvent aussi être des signes précoces de maladies (Veissier et al., 2017). Outre l'état de santé des animaux, des altérations du comportement peuvent aussi donner des informations sur leur état mental. Les individus stressés par exemple sont souvent hyper-réactifs (Boissy et al., 2001). Ainsi, l'élevage de précision, au travers de mesures du comportement, pourrait aussi servir à évaluer le niveau de mal-être des individus.

Il est important de noter que l'élevage de précision présente tout de même des limites. En effet, ces technologies révolutionnent le métier d'éleveur mais ces nouvelles façons de travailler avec la maintenance et le contrôle des appareils, la lecture et le traitement de l'information, ne sont pas forcément évidentes, surtout que l'information n'est pas toujours utilisable en l'état. De plus, il s'agit bien souvent de systèmes captifs, c'est-à-dire qui dépendent de sociétés spécifiques, ce qui rend la comptabilité, l'évolutivité ou encore les interconnexions entre appareils difficiles. Un point de vigilance concerne également la relation entre l'humain et l'animal. Cette relation pourrait être altérée par l'utilisation des outils de l'élevage de précision en modifiant l'approche de l'animal. Les informations en continu que reçoit l'éleveur pourraient réduire le contact physique avec ses animaux et ainsi réduire les liens entre l'homme et l'animal. En effet, les occasions d'observer directement les animaux, leurs comportements, leur santé et leur bien-être peuvent être amoindries, d'autant plus si des automates remplaçant le travail quotidien de l'éleveur sont utilisés (Cornou, 2009). Cependant, tous les éleveurs ne délèguent pas toutes leurs actions

aux outils, ils associent les données des capteurs et les observations directes (Veissier et al., 2019). L'utilisation des outils d'élevage de précision n'implique donc pas que le bien-être des animaux et celui des éleveurs soit toujours assuré.

La possibilité d'exprimer des comportements naturels fait partie des critères de bien-être. Les animaux de production étant des animaux grégaires, les outils de l'élevage de précision pourraient aussi nous fournir des informations sur le fonctionnement des groupes sociaux et sur la cohésion sociale dans le troupeau. Par exemple, chez les porcs, l'utilisation d'analyses d'images automatisées permet de détecter les coups et les poursuites (Lee et al., 2016). À l'heure actuelle, ces éléments sociaux sont difficiles d'accès aux éleveurs car cela nécessite de réaliser de nombreuses observations sur des temps longs. De nombreux travaux sont encore nécessaires pour développer des algorithmes permettant à terme de mesurer les comportements en élevage et d'aider ainsi les éleveurs dans leurs prises de décision, tout en tenant compte des besoins physiologiques, comportementaux et des attentes des animaux. Pour cela, les analyses d'images, les analyses de données axiales avec des accéléromètres, les stations d'alimentation telles que nous les avons utilisées dans nos travaux font partie des outils d'avenir.

Les demandes sociétales portent de plus en plus sur une meilleure prise en compte du bien-être dans les élevages. Le comportement et plus particulièrement les modifications du comportement pourraient servir à évaluer la santé et le mal-être des individus. La possibilité d'exprimer des comportements naturels fait également partie des critères à mieux prendre en compte afin d'améliorer le bien-être.

2.3. Le comportement alimentaire peut-il être relié à la personnalité des individus ?

Nous avons vu tout au long de ce manuscrit qu'il est encore mal compris pourquoi les individus d'un même troupeau présentent des comportements alimentaires différents et pourquoi ces différences ont l'air stables. Savoir pourquoi les profils alimentaires caractéristiques des individus se développent et comment ils persistent peut éventuellement permettre d'adapter la gestion de l'élevage aux besoins individuels. Un regard sur la façon

dont les animaux se comportent en dehors de l'alimentation peut apporter un certain éclairage. Il est connu que les individus peuvent réagir différemment à un même évènement, et que cette variation individuelle de réponse peut avoir des conséquences importantes sur la production. Par exemple, des animaux qui seraient plus calmes ou moins réactifs auraient une meilleure croissance et une meilleure production laitière (Haskell et al., 2014) ou une meilleure réponse immunitaire (Hulbert et al., 2011) par rapport aux animaux plus réactifs. Les différences individuelles dans les traits comportementaux et physiologiques qui sont constantes dans le temps et les contextes correspondent au concept de personnalité (Réale et al., 2007). Les traits de personnalité, qui correspondent à certains aspects spécifiques du répertoire comportemental, les plus souvent identifiés chez les animaux d'élevage sont l'audace et l'exploration. Ces deux traits sont associés à une propension à adopter un comportement à risque, mais l'audace fait également référence aux réactions comportementales face à une menace tandis que l'exploration est associée aux réactions comportementales face à la nouveauté (Réale et al., 2007). La peur est également souvent décrite chez les animaux d'élevage (Forkman et al., 2007).

Il nous a donc semblé intéressant de tenter de relier la personnalité des chèvres de nos études à leur comportement alimentaire. Par souci de cohérence sur l'ensemble du manuscrit les résultats des tests qui ont été réalisés pendant ma thèse ne sont pas présentés dans le manuscrit mais font l'objet d'un article en cours de rédaction. Les chevrettes nées en 2018 ont été soumises à des tests d'isolement social, d'objet nouveau, de réactivité et d'exploration (Erhard et al., 2012). Elles ont été testées dans le jeune âge puis à l'âge adulte. L'objectif de cette étude était de déterminer, d'une part, si ces tests permettaient de mesurer la personnalité des chèvres et, d'autre part, si on pouvait relier certains traits de personnalité à des profils alimentaires. Neave et al. (2018a) ont déjà mis en évidence que les traits de personnalité expliquaient la variabilité individuelle du comportement alimentaire chez des veaux. Les travaux futurs permettront de confirmer ou d'infirmer le lien entre personnalité et profils alimentaires.

La variabilité individuelle du comportement alimentaire est encore mal comprise. Un facteur pouvant expliquer cette variabilité pourrait être la personnalité des animaux. Les traits de personnalité ont d'ailleurs été mis en relation avec le comportement alimentaire chez les veaux.

2.4. Le comportement alimentaire peut-il être lié au microbiote ?

Depuis plusieurs années, le lien entre le cerveau et le tractus digestif suscite un intérêt croissant. De nombreux mécanismes ont été proposés pour sous-tendre cette relation (Mayer, 2011) comme la communication par le nerf vague (Forsythe et al., 2014), les systèmes immunitaires et endocriniens (Neuman et al., 2015) ou encore les produits des fermentations microbiennes (Lyte, 2013). L'importance relative de ces différentes voies n'est pas claire, mais de plus en plus d'études s'intéressent aux effets des micro-organismes sur le cerveau et le comportement (Cryan et Dinan, 2012 ; Sarkar et al., 2016). Pour décrire ces relations, le terme « axe microbiote-(intestin)-cerveau » est utilisé (Rhee et al., 2009). Un exemple du rôle du microbiote sur le comportement concerne les transplantations de microbiote fécal chez la souris qui permettent de faire en sorte que les traits comportementaux du receveur ressemblent davantage à ceux du donneur (Bercik et al., 2011). Les études de ce type montrent qu'il y a de plus en plus de preuves que le microbiote intestinal influence les processus physiologiques et comportementaux. Il pourrait être directement lié au bien-être, au stress, à l'anxiété, aux changements du comportement social ou encore à la mémoire.

Les preuves de l'influence du microbiote sur le comportement des animaux d'élevage restent rares. Chez les ruminants, le microbiote ruminal est composé d'un large spectre de micro-organismes comme des bactéries, des archées, des champignons, des protozoaires ou encore des virus (Zilber-Rosenberg et Rosenberg, 2008). Trois principaux avantages sont apportés par le microbiote aux ruminants : 1) la production d'enzymes dont le ruminant ne dispose pas et qui permettent de dégrader les parois cellulaires ; 2) la valorisation de l'azote non protéique pour synthétiser des acides aminés ; 3) l'approvisionnement en nutriments comme les vitamines K et B12, essentielles à l'hôte (Beauchemin, 2018). Le rumen se compose d'un microbiote dit central et d'un microbiote variable (Henderson et al., 2015). Le

microbiote central est constitué de différents taxons dont l'abondance augmente ou diminue en fonction du régime alimentaire de l'hôte (Henderson et al., 2015). Une adaptation rapide et adaptée aux variations du régime alimentaire est donc possible (Schären et al., 2017). Le microbiote variable (ou individuel) est le résultat de la variation inter-individuelle des caractères comportementaux ou génétiques, mais aussi des influences environnementales (Welkie et al., 2010 ; Malmuthuge et Guan, 2017 ; Zeng et al., 2017). De nombreux facteurs vont avoir une influence sur la composition du microbiote variable comme l'âge, la race ou l'alimentation (Shi et al., 2008 ; Jami et al., 2013 ; Douglas et al., 2016 ; Loor et al., 2016). Cependant, des animaux du même âge, nourris avec la même ration et maintenus dans un environnement similaire vont présenter des différences de microbiote (Guo et al., 2015). D'autres études ont également montré des relations entre les variables de production, comme la production et la composition du lait, et le microbiote du rumen (Jami et al., 2014).

Des changements du comportement alimentaire induits par l'axe microbiote-cerveau sont suspectés chez les ruminants lorsqu'ils sont affectés par l'acidose. En effet, chez des vaches atteintes d'acidose subaiguë, le microbiote ruminal est modifié ainsi que le comportement alimentaire avec une réduction de l'ingestion et de la durée de rumination (Nagata et al., 2018). Il est néanmoins difficile de différencier les effets du microbiote sur l'hôte, des effets de l'hôte sur son microbiote.

Le lien entre tractus digestif et cerveau est de plus en plus étudié. De nombreuses études rapportent les effets de l'axe-microbiote-(intestin)-cerveau. Néanmoins, ce type d'études sur les animaux d'élevage reste rare, bien qu'elles suscitent un intérêt particulier, notamment dans l'étude de l'acidose. L'étude du microbiote des animaux d'élevage semble donc être un champ de recherche prometteur.

En résumé, les perspectives de recherche quant au comportement, et particulièrement le comportement alimentaire, sont nombreuses. Quatre de ces perspectives ont été évoquées dans cette partie :

- La rumination. Elle fait partie intégrante du comportement alimentaire. Grâce au développement de technologies, elle peut maintenant être mesurée grâce à différents capteurs. Le couplage de ces capteurs pour mesurer la rumination avec d'autres capteurs permettant de mesurer d'autres comportements permettront d'obtenir le budget temps-global des animaux.
- Le bien-être. L'élevage de précision et le développement des technologies associées offrent un large éventail quant aux possibilités d'utiliser les comportements des animaux pour suivre leur état de bien-être, tant du point de vue de la santé, que des relations sociales ou de leurs états mentaux. Des recherches devraient être approfondies afin d'utiliser au mieux les outils mis à disposition par l'élevage de précision afin d'assurer le bien-être des animaux. Ces outils peuvent aussi contribuer au bien-être de l'éleveur dans la satisfaction d'avoir des animaux qui vont bien et dans la facilitation de la réalisation de certains aspects de leur travail.
- La personnalité. Des travaux ont déjà permis de mettre en relation le comportement alimentaire et la personnalité chez des veaux. Les futures recherches devront s'atteler à étudier si les profils alimentaires, tels que les « grignoteurs » et les « voraces », peuvent être associés à certains traits de personnalité. Ainsi, les tests de personnalités, qui pourraient être plus facilement mis en place comparés aux technologies nécessaires pour caractériser le comportement alimentaire, pourraient servir à la sélection des individus.

- Les informations sur l'axe microbiote-cerveau restent limitées chez les animaux d'élevage. Une meilleure compréhension du rôle fonctionnel des micro-organismes et de la manière dont l'hôte contrôle son propre microbiote est pertinente dans le développement des connaissances sur les ruminants. Le lien microbiote-cerveau et l'influence du microbiote sur le comportement devront être pris en compte à l'avenir, ce qui pourrait modifier les objectifs de sélection, l'alimentation, et les processus de sélection génétique. Ces influences du microbiote sur le comportement ainsi que sur la santé par le biais de la réponse immunitaire font du microbiote un acteur qui pourrait devenir central dans la prise en compte du bien-être animal.

CHAPITRE 7.

Conclusion générale

Ma thèse fait partie d'un projet plus vaste de l'UMR MoSAR visant à phénotyper les individus de la chèvrerie expérimentale sur de nombreux critères dont des critères zootechniques, physiologiques et comportementaux, pour ensuite les soumettre à des challenges nutritionnels. L'objectif de ma thèse était d'approfondir les connaissances quant au comportement alimentaire des ruminants, et plus particulièrement des chèvres. Le **chapitre 3** a permis de traiter le comportement d'un point de vue global en s'intéressant aux préférences alimentaires. Le **chapitre 4** avait pour objectif la caractérisation phénotypique du comportement alimentaire en étudiant les variabilités inter- et intra-individuelles, qui constituent un niveau plus détaillé que les préférences. Enfin, le **chapitre 5** permettait de s'interroger sur les individus en particulier et notamment leurs capacités d'adaptation à un changement alimentaire.

Trois études ont été mises en place afin de tenter de répondre aux interrogations suivantes :

- Les chèvres présentent-elles des préférences alimentaires, notamment en termes de position d'alimentation et de type d'aliment proposé ?
- Existe-t-il une variabilité inter- et intra-individuelle pour des chèvres laitières hébergées en groupe ?
- Le comportement alimentaire est-il influencé par le stade de lactation de l'animal ?
- Le comportement alimentaire des chèvres hébergées en groupe est-il stable entre les différents stades physiologiques ?
- Le comportement alimentaire est-il flexible face à un challenge alimentaire de type modification de la fréquence de distribution de la ration ?
- Comment les animaux s'adaptent-ils à ce type de challenge ?

En parallèle des études présentées dans ce manuscrit, des données sur le comportement alimentaire dans le jeune âge (avant le sevrage), sur la personnalité des chèvres et sur l'adaptation à un challenge nutritionnel (modification de la composition de la ration) ont été obtenues. Ces données seront valorisées ultérieurement.

L'étude des préférences alimentaires en termes de position d'alimentation et de type d'aliment a permis de mettre en évidence que la préférence à manger dans des mangeoires en hauteur montrée par d'autres auteurs (Neave et al., 2018b) était en fait aliment-dépendante. De plus, nous avons observé que la première mangeoire visitée ne traduisait pas la préférence des chèvres en termes de quantité consommée et de temps passé à la mangeoire. Toutes les chèvres préféraient les feuilles à l'herbe mais lorsque les chèvres étaient confrontées à un seul choix d'aliments qui semblait moins appétant (l'herbe), elles exploraient davantage et changeaient souvent de mangeoire, ce qui indiquait la recherche d'une autre source d'alimentation. Enfin, nous avons montré qu'il existe une grande variabilité inter-individuelle en termes de préférence d'alimentation. Cette variabilité pourrait être exploitée en proposant différents types de mangeoires et en diversifiant l'alimentation afin que les chèvres puissent exprimer leurs comportements naturels, ce qui contribuerait à satisfaire leurs besoins comportementaux et leurs attentes.

L'étude de la variabilité du comportement alimentaire des chèvres a permis de montrer que trois variables du comportement alimentaire (la quantité journalière ingérée, le nombre de repas journaliers et la taille de ces repas) étaient relativement stables pour un même individu mais qu'elles présentaient une forte variabilité entre les individus. Nous avons également observé que les variables du comportement liées à la durée (la durée des repas et la durée journalière d'ingestion) étaient moins stables, et seraient donc moins pertinentes si l'on souhaitait caractériser la variabilité individuelle. Bien que le stade de lactation soit un facteur affectant le comportement alimentaire, une bonne stabilité entre deux stades physiologiques a été mise en évidence. Le comportement alimentaire n'était pas différent selon les races. On ne comprend pas encore tout à fait pourquoi les individus d'un troupeau diffèrent en termes de comportement alimentaire et pourquoi ces différences semblent relativement stables tant à court terme, au niveau du jour, qu'à long terme, au niveau de la lactation. Des études futures pourront apporter un éclairage et permettre de sélectionner des individus les plus adaptés à l'élevage et de mieux prendre en compte l'individu en tant que tel dans la gestion du troupeau.

Nous avons mis en évidence qu'une modification de la fréquence de distribution des aliments modifiait le comportement alimentaire mais que les profils restaient stables au cours des différentes périodes de changement de fréquence. Nous avons aussi montré qu'une réduction de la fréquence de distribution à une fois par jour avait entraîné les changements les plus importants. Parallèlement, nous avons confirmé que la distribution d'aliment frais stimulait plus le comportement alimentaire que le simple brassage des aliments déjà présents dans la mangeoire. Enfin, lorsque l'aliment était délivré une fois par jour, l'ajout d'un brassage de l'aliment n'avait que peu d'effet sur le comportement alimentaire. Ainsi, nous avons montré que les chèvres adaptaient leur comportement alimentaire à une modification de la fréquence de distribution et que la manipulation de l'aliment ne pouvait pas remplacer la distribution d'aliment frais. Les pratiques d'alimentation devraient donc en tenir compte.

En conclusion, cette thèse a permis de compléter les connaissances sur la caractérisation phénotypique du comportement alimentaire des chèvres, allant d'un point de vue général concernant les préférences jusqu'au détail des capacités d'adaptation des individus en passant par la variabilité au sein et entre individus. Plus particulièrement, nous avons pu mettre en évidence l'importance de la variabilité individuelle du comportement alimentaire. En effet, des fluctuations environnementales, telles que la disponibilité des ressources alimentaires, peuvent être envisagées dans la vie en élevage. La vitesse de retour du troupeau au niveau de performance avant la perturbation, i.e. sa résilience, s'appuie donc sur la présence de variabilité individuelle au sein du troupeau. Avoir des individus différents dans le troupeau, et avoir une gestion individuelle ciblée semblent donc importants afin de garantir la résilience et la robustesse du troupeau.

Peu d'études sont actuellement réalisées sur le comportement alimentaire en utilisant le modèle caprin, en particulier avec une approche éthologique. Néanmoins, l'éthologie apporte des résultats intéressants qui peuvent se révéler utiles en matière de pilotage de l'élevage et de prise en compte du bien-être animal. Couplée aux techniques de l'élevage de précision, l'étude du comportement alimentaire peut permettre la rencontre de divers champs disciplinaires comme l'éthologie, la bio-informatique, la nutrition, la microbiologie

ou encore la modélisation dans un but commun de mieux comprendre les espèces afin de mieux les connaître et de mieux les gérer en élevage. Le champ des possibles est donc encore large quant à la recherche sur le comportement alimentaire des ruminants.

Références bibliographiques.

Citées dans les chapitres 1, 2 et 6

- Abijaoudé, J.A., Morand-Fehr, P., Béchet, G., Brun, J.P., Tessier, J., Sauvant, D., 1999. A method to record the feeding behaviour of goats. *Small Rumin. Res.* 33, 213–221. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(99\)00035-8](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(99)00035-8)
- Abijaoudé, J.A., Morand-Fehr, P., Tessier, J., Schmidely, P., Sauvant, D., 2000a. Contribution of main and secondary meals to the daily intake of stall-housed dairy goats in mid lactation. In : Ledin I. (ed.), Morand-Fehr P. (ed.) *Sheep and Goat Nutrition: Intake, Digestion, Quality of Products and Rangeland. Cahiers Options Méditerranéennes.* 52, 33–37.
- Abijaoudé, J.A., Morand-Fehr, P., Tessier, J., Schmidely, P., Sauvant, D., 2000b. Diet effect on the daily feeding behaviour, frequency and characteristics of meals in dairy goats. *Livest. Prod. Sci.* 64, 29–37. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(00\)00173-1](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(00)00173-1)
- Agle, M., Hristov, A.N., Zaman, S., Schneider, C., Ndegwa, P.M., Vaddella, V.K., 2010. Effect of dietary concentrate on rumen fermentation, digestibility, and nitrogen losses in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 93, 4211–4222. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2977>
- Aharon, H., Henkin, Z., Ungar, E.D., Kababya, D., Baram, H., Perevolotsky, A., 2007. Foraging behaviour of the newly introduced Boer goat breed in a Mediterranean woodland: A research observation. *Small Rumin. Res.* 69, 144–153. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2006.01.004>
- Ahmed, A.F., Constable, P.D., Misk, N.A., 2002. Effect of feeding frequency and route of administration on abomasal luminal pH in dairy calves fed milk replacer. *J. Dairy Sci.* 85, 1502–1508. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74219-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74219-7)
- Aldezabal, A., Garin, I., 2000. Browsing preference of feral goats (*Capra hircus* L.) in a Mediterranean mountain scrubland. *J. Arid Environ.* 44, 133–142. <https://doi.org/10.1006/jare.1999.0573>
- Allen, J.D., Hall, L.W., Collier, R.J., Smith, J.F., 2015. Effect of core body temperature, time of day, and climate conditions on behavioral patterns of lactating dairy cows experiencing mild to moderate heat stress. *J. Dairy Sci.* 98, 118–127. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7704>
- Altmann, J., 1974. Observational study of behavior: sampling methods. *Behaviour*, 49(3-4), 227-266.
- ANICAP, 2017. Plan de la filière caprine française. <https://anicap.org/actions/plan-de-la-filiere-caprine-francaise-2018-2022> [Consulté le 21/07/2020]
- ANSES, 2018. Avis de l'agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif au "Bien-être animal: contexte, définition et évaluation." <https://www.anses.fr>
- Appleby, M.C., Weary, D.M., Chua, B., 2001. Performance and feeding behaviour of calves on ad libitum milk from artificial teats. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 74, 191–201. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(01\)00171-X](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(01)00171-X)
- Arrazola, A., Dicker, K., Vasseur, E., Bergeron, R., 2020. The effect of early housing and

- companion experience on the grazing and ruminating behaviour of naïve heifers on pasture. *Appl. Anim. Behav. Sci.* <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2020.104993>
- Aschwanden, J., Gygax, L., Wechsler, B., Keil, N.M., 2008. Social distances of goats at the feeding rack: Influence of the quality of social bonds, rank differences, grouping age and presence of horns. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 114, 116–131. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2008.02.002>
- Aschwanden, J., Gygax, L., Wechsler, B., Keil, N.M., 2009. Structural modifications at the feeding place: Effects of partitions and platforms on feeding and social behaviour of goats. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 119, 180–192. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2009.04.004>
- Azizi, O., Kaufmann, O., Hasselmann, L., 2009. Relationship between feeding behaviour and feed intake of dairy cows depending on their parity and milk yield. *Livestock Science*, 122(2-3), 156-161.
- Aublet, J.F., Festa-Bianchet, M., Bergero, D., Bassano, B., 2009. Temperature constraints on foraging behaviour of male Alpine ibex (*Capra ibex*) in summer. *Oecologia* 159, 237–247. <https://doi.org/10.1007/s00442-008-1198-4>
- Babu, L.K., Pandey, H.N., Sahoo, A., 2004. Effect of individual versus group rearing on ethological and physiological responses of crossbred calves. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 87, 177–191. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2004.01.006>
- Baker, R.D., Alvarez, F., Ledu, Y.L.P., 1981. The effect of herbage allowance upon the herbage intake and performance of suckler cows and calves. *Grass Forage Sci.* 36, 189–199. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1981.tb01555.x>
- Bareille, N., Beaudeau, F., Billon, S., Robert, A., Faverdin, P., 2003. Effects of health disorders on feed intake and milk production in dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 83, 53–62. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(03\)00040-X](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(03)00040-X)
- Barroso, F.G., Alados, C.L., Boza, J., 2000. Social hierarchy in the domestic goat: Effect on food habits and production. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 69, 35–53. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(00\)00113-1](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(00)00113-1)
- Battini, M., Barbieri, S., Waiblinger, S., Mattiello, S., 2016. Validity and feasibility of Human-Animal Relationship tests for on-farm welfare assessment in dairy goats. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 178, 32–39. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2016.03.012>
- Baumont, R., Dulphy, J.P., Andrieu, J.P., 1988. Comportement alimentaire et état de réplétion du réticulo-rumen chez le mouton nourri à volonté de foin de prairie ou de luzerne, avec accès continu ou limité : incidences sur le contrôle physique de l'ingestion. *Reprod. Nutr. Dev.* 28, 573–588.
- Baumont, R., Segulier, N., Dulphy, J.P., 1990. Rumen fill, forage palatability and alimentary behaviour in sheep. *J. Agric. Sci.* 3, 277–284. <https://doi.org/https://doi.org/10.1017/S0021859600075249>
- Baumont, R., 1996. Palatabilité et comportement alimentaire chez les ruminants. *INRA Prod.*

- Anim. 9, 349–358.
- Baumont, R., Jailler, M., Dulphy, J.P., 1997. Dynamic of voluntary intake, feeding behaviour and rumen function in sheep fed three contrasting types of hay. *Ann. Rech. Vet.* 46, 231–244.
- 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. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(00\)00172-X](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(00)00172-X)
- Beauchamp, G., 2015. Animal vigilance: monitoring predators and competitors. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801983-2/00011-5>
- Beauchemin, K.A., Kachanoski, R.G., Schaalje, G.B., Buchanan-Smith, J.G., 1990. Characterizing rumination patterns of dairy cows using spectral analysis. *J. Anim. Sci.* 68, 3163–3170. <https://doi.org/10.2527/1990.68103163x>
- Beauchemin, K.A., McAllister, T.A., Dong, Y., Farr, B.I., Cheng, K.J., 1994. Effects of mastication on digestion of whole cereal grains by cattle. *J. Anim. Sci.* 72, 236–246. <https://doi.org/10.2527/1994.721236x>
- Beauchemin, K.A., 2018. Invited review: Current perspectives on eating and rumination activity in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 101, 4762–4784. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13706>
- Bels, V. L. (ed), 2006. Feeding in domestic vertebrates. From structure to behaviour. Cabi. 370 pages.
- Benjamin, M., Yik, S., 2019. Precision livestock farming in swine welfare: A review for swine practitioners. *Animals* 9, 1–21. <https://doi.org/10.3390/ani9040133>
- Bercik, P., Denou, E., Collins, J., Jackson, W., Lu, J., Jury, J., Deng, Y., Blennerhassett, P., MacRi, J., McCoy, K.D., Verdu, E.F., Collins, S.M., 2011. The intestinal microbiota affect central levels of brain-derived neurotropic factor and behavior in mice. *Gastroenterology* 141, 599–609. <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2011.04.052>
- Berckmans, D., 2014. Precision livestock farming technologies for welfare management in intensive livestock systems. *OIE Rev. Sci. Tech.* 33, 189–196. <https://doi.org/10.20506/rst.33.1.2273>
- Berckmans, D., Norton, T., 2017. Vision for Precision Livestock Farming Based upon the EU-PLF Project 408–413.
- Bernabucci, U., Lacetera, N., Danieli, P.P., Bani, P., Nardone, A., Ronchi, B., 2009. Influence of different periods of exposure to hot environment on rumen function and diet digestibility in sheep. *Int. J. Biometeorol.* 53, 387–395. <https://doi.org/10.1007/s00484-009-0223-6>
- Blavy, P., Dhumez, O., Giger-Reverdin, S., Nielsen, B.L., Friggens, N.C., 2020. A filtering algorithm for accurate determination of feed intake dynamics. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* (submitted).
- Boissy, A., Veissier, I., Roussel, S., 2001. Behavioural reactivity affected by chronic stress: An

- experimental approach in calves submitted to environmental instability. *Anim. Welfare.* 10, 175-185.
- Borchers, M.R., Bewley, J.M., 2015. An assessment of producer precision dairy farming technology use, prepurchase considerations, and usefulness. *J. Dairy Sci.* 98, 4198–4205. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8963>
- Bracke, M.B.M., Hopster, H., 2006. Assessing the importance of natural behavior for animal welfare. *J. Agric. Environ. Ethics* 77–89. <https://doi.org/10.1007/s10806-005-4493-7>
- Briefer, E.F., Haque, S., Baciadonna, L., McElligott, A.G., 2014. Goats excel at learning and remembering a highly novel cognitive task. *Front. Zool.* 11. <https://doi.org/10.1186/1742-9994-11-20>
- Broom, D.M., Fraser, A.F., 2015. *Domestic animal behaviour and welfare*. Cabi, 1037 pages
- 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 ? Les journées de l'AFPF, Association Française pour la production Fourragère. Versailles (France), Mars 2016.
- Calsamiglia, S., Blanch, M., Ferret, A., Moya, D., 2012. Is subacute ruminal acidosis a pH related problem? Causes and tools for its control. *Anim. Feed Sci. Technol.* 172, 42–50. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.12.007>
- Capgènes, 2013a. La race alpine française. <https://www.capgenes.com/les-races-caprines/race-alpine-francaise/> [Consulté le 24/07/2020]
- Capgènes, 2013b. La race Saanen française. https://www.capgenes.com/la_race_saanen_francaise/ [Consulté le 24/07/2020]
- Castells, L., Bach, A., Araujo, G., Montoro, C., Terré, M., 2012. Effect of different forage sources on performance and feeding behavior of Holstein calves. *J. Dairy Sci.* 95, 286–293. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4405>
- Cellier, M., Nielsen, B.L., Eymard, A., Duvaux-Ponter, C., 2018. Goat kids can be characterized on their pre-weaning feeding behaviour. 10th International Symposium on the Nutrition of Herbivores (ISNH), 3-6 septembre 2018, Clermont-Ferrand (France).
- Chase, I. D., Tovey, C., Spangler-Martin, D., Manfredonia, M., 2002. Individual differences versus social dynamics in the formation of animal dominance hierarchies. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(8), 5744-5749.
- Chua, B., Coenen, E., Van Delen, J., Weary, D.M., 2002. Effects of pair versus individual housing on the behavior and performance of dairy calves. *J. Dairy Sci.* 85, 360–364. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74082-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74082-4)
- Chuanzhong, X., Pei, W., Lina, Z., Yanhua, M., Yanqiu, L., Maksim, 2017. Compressive sensing in wireless sensor network for poultry acoustic monitoring. *Int. J. Agric. Biol. Eng.* 10, 94–102. <https://doi.org/10.3965/j.ijabe.20171002.2148>
- Colli, L., Lancioni, H., Cardinali, I., Olivieri, A., Capodiferro, M.R., Pellicchia, M., Rzepus, M., Zamani, W., Naderi, S., Gandini, F., Vahidi, S.M.F., Agha, S., Randi, E., Battaglia, V., Sardina,

- M.T., Portolano, B., Rezaei, H.R., Lymberakis, P., Boyer, F., Coissac, E., Pompanon, F., Taberlet, P., Ajmone Marsan, P., Achilli, A., 2015. Whole mitochondrial genomes unveil the impact of domestication on goat matrilineal variability. *BMC Genomics* 16, 1–12. <https://doi.org/10.1186/s12864-015-2342-2>
- Cornou, C., 2009. Automation systems for farm animals: Potential impacts on the Human-Animal relationship and on animal welfare. *Anthrozoös*, 22, 213-220.
- Cryan, J.F., Dinan, T.G., 2012. Mind-altering microorganisms: The impact of the gut microbiota on brain and behaviour. *Nat. Rev. Neurosci.* 13, 701–712. <https://doi.org/10.1038/nrn3346>
- Dado, R.G., Allen, M.S., 1994. Variation in and relationships among feeding, chewing, and drinking variables for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 77, 132–144. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(94\)76936-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)76936-8)
- Dairy Goat Co-operative : <https://www.dgc.co.nz/> [Consulté le 2 septembre 2020]
- David, I., Bouvier, F., Ricard, E., Ruesche, J., Weisbecker, J., 2014. Feeding behaviour of artificially reared Romane lambs. *Animal* 8, 982–990. <https://doi.org/10.1017/S1751731114000603>
- De Boyer des Roches, A., Faure, M., Lussert, A., Herry, V., Rainard, P., Durand, D., Foucras, G., 2017. Behavioral and patho-physiological response as possible signs of pain in dairy cows during *Escherichia coli* mastitis: A pilot study. *J. Dairy Sci.* 100, 8385–8397. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12796>
- De Passillé, A.M., 2001. Sucking motivation and related problems in calves. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 72, 175–187. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(01\)00108-3](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(01)00108-3)
- De Passillé, A.M., Rabeyrin, M., Rushen, J., 2016. Associations between milk intake and activity in the first days of a calf's life and later growth and health. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 175, 2–7. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2014.10.002>
- De Paula Vieira, A., von Keyserlingk, M.A.G., Weary, D.M., 2010. Effects of pair versus single housing on performance and behavior of dairy calves before and after weaning from milk. *J. Dairy Sci.* 93, 3079–3085. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2516>
- Delagarde, R., Prache, S., Hour, P., Petit, M., Delagarde, R., Prache, S., Hour, P., Ingestion, M.P., 2001. Ingestion de l'herbe par les ruminants au pâturage. *Fourrages* 189–212.
- Desnoyers, M., Giger-Reverdin, S., Duvaux-Ponter, C., Lebarbier, E., Sauvant, D., 2008. Modélisation des épisodes d'acidose sub-clinique et du comportement alimentaire associé: application à la chèvre laitière. *Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants* 15, 339–342.
- Desnoyers, M., Giger-Reverdin, S., Sauvant, D., Duvaux-Ponter, C., 2011. The use of a multivariate analysis to study between-goat variability in feeding behavior and associated rumen pH patterns. *J. Dairy Sci.* 94, 842–852. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3461>
- Deswysen, A.G., Dutilleul, P., Godfrin, J.P., Ellis, W.C., 1993. Nycterohemeral eating and

- ruminating patterns in heifers fed grass or corn silage: analysis by finite Fourier transform. *J. Anim. Sci.* 71, 2739–2747. <https://doi.org/10.2527/1993.71102739x>
- DeVries, T.J., von Keyserlingk, M.A.G., Beauchemin, K.A., 2003a. Short communication: Diurnal feeding pattern of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86, 4079–4082. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)74020-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)74020-X)
- DeVries, T.J., von Keyserlingk, M.A.G., Weary, D.M., Beauchemin, K.A., 2003b. Measuring the feeding behavior of lactating dairy cows in early to peak lactation. *J. Dairy Sci.* 86, 3354–3361. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73938-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73938-1)
- DeVries, T.J., Von Keyserlingk, M.A.G., Weary, D.M., 2004. Effect of feeding space on the inter-cow distance, aggression, and feeding behavior of free-stall housed lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 87, 1432–1438. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73293-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73293-2)
- DeVries, T.J., von Keyserlingk, M.A.G., Beauchemin, K.A., 2005. Frequency of feed delivery affects the behavior of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 88, 3553–3562. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)73040-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)73040-X)
- DeVries, T.J., Beauchemin, K.A., Dohme, F., Schwartzkopf-Genswein, K.S., 2009. Repeated ruminal acidosis challenges in lactating dairy cows at high and low risk for developing acidosis: Feeding, ruminating, and lying behavior. *J. Dairy Sci.* 92, 5067–5078. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2102>
- DeVries, T.J., Von keyserlingk, M.A.G., 2009. Competition for feed affects the feeding behavior of growing dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 92, 3922–3929. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1934>
- Directive 2010/63/UE du Parlement Européen et du Conseil, 2010. Directive 2010/63/UE du Parlement Européen et du Conseil du 22 Septembre 2010 relative à la protection des animaux utilisés à des fins scientifiques. *J. Off. l'Union Eur.*
- Dougherty, C.T., Bradley, N.W., Cornelius, P.L., Lauriault, L.M., 1989. Short-term fasts and the ingestive behaviour of grazing cattle. *Grass Forage Sci.* 44, 295–302. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1989.tb02167.x>
- Douglas, J.L., Worgan, H.J., Easton, G.L., Poret, L., Wolf, B.T., Edwards, A., Davies, E., Ross, D., Mcewan, N.R., 2016. Microbial diversity in the digestive tract of two different breeds of sheep. *J. Appl. Microbiol.* 120, 1382–1389. <https://doi.org/10.1111/jam.13060>
- Dulphy, J.P., Faverdin, P., 1987. L'ingestion alimentaire chez les ruminants: modalités et phénomènes associés. *Reprod. Nutr. Dev.* 27, 129–155.
- Dulphy, J.P., Carle, B., Demarquilly, C., L'Hôtelier, L., Moins, G., Ollier, A., 1990. Quantités ingérées et activités alimentaires comparées des ovins, bovins et caprins recevant des fourrages conservés avec ou sans aliment concentré. I. Etude descriptive. *Ann. Zootech.* 39, 95–111.
- Dumont, B., 1996. Préférences et sélection alimentaire au pâturage. *INRA Prod. Anim.* 9, 359–365.
- Dwyer, C.M., Calvert, S.K., Farish, M., Donbavand, J., Pickup, H.E., 2005. Breed, litter and parity

- effects on placental weight and placentome number, and consequences for the neonatal behaviour of the lamb. *Theriogenology* 63, 1092–1110. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2004.06.003>
- Dziba, L.E., Scogings, P.F., Gordon, I.J., Raats, J.G., 2003. The feeding height preferences of two goat breeds fed *Grewia occidentalis* L. (Tiliaceae) in the Eastern Cape, South Africa. *Small Rumin. Res.* 47, 31–38. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(02\)00234-1](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(02)00234-1)
- Egea, A. V., Allegretti, L., Paez Lama, S., Grilli, D., Sartor, C., Fucili, M., Guevara, J.C., Passera, C., 2014. Selective behavior of Creole goats in response to the functional heterogeneity of native forage species in the central Monte desert, Argentina. *Small Rumin. Res.* 120, 90–99. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2014.04.005>
- El Aich, A., El Assouli, N., Fathi, A., Morand-Fehr, P., Bourbouze, A., 2007. Ingestive behavior of goats grazing in the Southwestern Argan (*Argania spinosa*) forest of Morocco. *Small Rumin. Res.* 248–256. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2006.03.011>
- Emery, N.J., Clayton, N.S., Frith, C.D., 2007. Introduction. Social intelligence: From brain to culture. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 362, 485–488. <https://doi.org/10.1098/rstb.2006.2022>
- Erhard, H.W., Favreau-Peigné, A., Dhumez, O., Duvaux-Ponter, C., 2012. Comportement des chevrettes Alpine et Saanen. *Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants*, 19:94
- Erickson, G.E., Milton, C.T., Fanning, K.C., Cooper, R.J., Swingle, R.S., Parrott, J.C., Vogel, G., Klopfenstein, T.J., 2003. Interaction between bunk management and monensin concentration on finishing performance, feeding behavior, and ruminal metabolism during an acidosis challenge with feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 81, 2869–2879. <https://doi.org/10.2527/2003.81112869x>
- Escareño, L., Salinas-Gonzalez, H., Wurzinger, M., Iñiguez, L., Sölkner, J., Meza-Herrera, C., 2012. Dairy goat production systems: Status quo, perspectives and challenges. *Trop. Anim. Health Prod.* 45, 17–34. <https://doi.org/10.1007/s11250-012-0246-6>
- Ewbank, R., 1967. Nursing and suckling behaviour amongst clun forest ewes and lambs. *Anim. Behav.* 15, 251–258. [https://doi.org/10.1016/0003-3472\(67\)90007-3](https://doi.org/10.1016/0003-3472(67)90007-3)
- Faichney, G.J., 1992. Consumption of solid feed by lambs during their transition from pre-ruminant to full ruminant function. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 34, 85–91. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(05\)80059-0](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(05)80059-0)
- FAO, 2017. FAOSTAT <http://www.fao.org/faostat/fr/#data/QA/visualize> [Consulté le 2 septembre 2020.]
- Favreau-Peigné, A., Baumont, R., Ginane, C., 2013. Les rôles des caractéristiques sensorielles des aliments dans le comportement alimentaire des ruminants domestiques. *Prod. Anim.* 26, 25–34. <http://doi.org/10.20870/productions-animales.2013.26.1.3132>
- Fedele, V., Claps, S., Rubino, R., Calandrelli, M., Pilla, A.M., 2002. Effect of free-choice and traditional feeding systems on goat feeding behaviour and intake. *Livest. Prod. Sci.* 74,

- 19–31. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(01\)00285-8](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(01)00285-8)
- Finkemeier, M.A., Langbein, J., Puppe, B., 2018. Personality research in mammalian farm animals: Concepts, measures, and relationship to welfare. *Front. Vet. Sci.* 5, 1–15. <https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00131>
- Fisher, D.S., 2002. A review of a few key factors regulating voluntary feed intake in ruminants. *Crop Sci.* 42, 1651–1655. <https://doi.org/10.2135/cropsci2002.1651>
- Focant, M., 1984. Comportement alimentaire, rumination, fermentation réticulo-ruminales et acides gras volatils plasmatiques, comparés chez la chèvre et le mouton : influence du régime. *Reprod. Nutr. Dev.* 24, 239–250.
- Fogsgaard, K.K., Røntved, C.M., Sørensen, P., Herskin, M.S., 2012. Sickness behavior in dairy cows during *Escherichia coli* mastitis. *J. Dairy Sci.* 95, 630–638. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4350>
- Forbes, J.M., 1970. The voluntary food intake of pregnant and lactating ruminants: a review. *Br. Vet. J.* 126, 1–11. [https://doi.org/10.1016/S0007-1935\(17\)48557-5](https://doi.org/10.1016/S0007-1935(17)48557-5)
- Forbes, J.M., 1971. Physiological changes affecting voluntary food intake in ruminants. *Proc. Nutr. Soc.* 30, 135–142. <https://doi.org/10.1079/pns19710024>
- Forbes, J.M., Hodgson, J., 1985. Comparative studies of the influence of sward conditions on the ingestive behaviour of cows and sheep. *Grass Forage Sci.* 40, 69–77. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1985.tb01721.x>
- Forbes, J.M., 1992. Metabolic aspects of satiety. *Proc. Nutr. Soc.* 51, 13–19. <https://doi.org/10.1079/pns19920005>
- Forbes, J.M., Kyriazakis, I., 1995. Food preferences in farm animals: why don't they always choose wisely? *Proc. Nutr. Soc.* 54, 429–440. <https://doi.org/10.1079/pns19950012>
- Forbes, J.M., 1998. Dietary awareness. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 57, 287–297. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(98\)00103-8](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(98)00103-8)
- Forbes, J.M., 2007. Voluntary food intake and diet selection in farm animals. 2nd Edition, Cabi.
- Forkman, B., Boissy, A., Meunier-Salaün, M.C., Canali, E., Jones, R.B., 2007. A critical review of fear tests used on cattle, pigs, sheep, poultry and horses. *Physiol. Behav.* 92, 340–374. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2007.03.016>
- Forsythe, P., Bienenstock, J., Kunze, W.A., 2014. Vagal pathways for microbiome-brain-gut axis communication, in: Lyte, M., Cryan, J.F. (Ed.), *Microbial Endocrinology: The Microbiota-Gut-Brain 361 Axis in Health and Disease*. pp. 115–133. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-0897-4>
- France Génétique Elevage, 2014. La France une génétique caprine de première qualité. <http://fr.france-genetique-elevage.org/-Races-caprines>. [Consulté le 2 octobre 2020]
- Friend, T.H., Polan, C.E., 1974. Social Rank, Feeding Behavior, and Free Stall Utilization by Dairy Cattle. *J. Dairy Sci.* 57, 1214–1220. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(74\)85040-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(74)85040-X)
- Friggens, N.C., Emmans, G.C., Kyriazakis, I., Oldham, J.D., Lewis, M., 1998a. Feed intake relative

- to stage of lactation for dairy cows consuming total mixed diets with a high or low ratio of concentrate to forage. *J. Dairy Sci.* 81, 2228–2239. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75802-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75802-3)
- Friggens, N.C., Nielsen, B.L., Kyriazakis, I., Tolcamp, B.J., Emmans, G.C., 1998b. Effects of feed composition and stage of lactation on the short-term feeding behavior of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 81, 3268–3277. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75891-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75891-6)
- Fuquay, J.W., Sweeney, M.C., Fox, P.F. 2011. *Encyclopedia of dairy sciences*, Academic Press. 4068 pages.
- Galli, J.R., Cangiano, C.A., Milone, D.H., Laca, E.A., 2011. Acoustic monitoring of short-term ingestive behavior and intake in grazing sheep. *Livest. Sci.* 140, 32–41. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.02.007>
- Gallouin, F., Focant, M., 1980. Bases physiologiques du comportement alimentaire chez les ruminants. *Reprod. Nutr. Dev.* 20, 1563–1614. <https://doi.org/10.1051/rnd:19800902>
- Gallouin, F., Le Magnen, J., 1987. Evolution historique des concepts de faim, satiété et appétits. *Reprod. Nutr. Dev.* 109–128. <https://doi.org/10.1163/ej.9789028606227.125-232.3>
- Gibson, J.P., 1984. The effects of frequency of feeding on milk production of dairy cattle: An analysis of published results. *Anim. Prod.* 38, 181–189. <https://doi.org/10.1017/S0003356100002178>
- Giger-Reverdin, S., Lebarbier, E., Duvaux-Ponter, C., Desnoyers, M., 2012. A new segmentation – clustering method to analyse feeding behaviour of ruminants from within-day cumulative intake patterns. *Comput. Electron. Agric.* 83, 109–116. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.02.007>
- Giger-Reverdin, S., 2018. Recent advances in the understanding of subacute ruminal acidosis (SARA) in goats, with focus on the link to feeding behaviour. *Small Rumin. Res.* 163, 24–28. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2017.08.008>
- Giger-Reverdin, S., Duvaux-Ponter, C., Sauvant, D., Friggens, N.C., 2020. Repeatability of traits for characterizing feed intake patterns in dairy goats: a basis for phenotyping in the precision farming context. *Animal* 1–10. <https://doi.org/10.1017/s1751731119002817>
- Goetsch, A.L., Detweiler, G., Sahlu, T., Dawson, L.J., 2001. Effects of different management practices on preweaning and early postweaning growth of Alpine kids. *Small Rumin. Res.* 41, 109–116. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(01\)00207-3](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(01)00207-3)
- González, L.A., Bishop-Hurley, G.J., Handcock, R.N., Crossman, C., 2015. Behavioral classification of data from collars containing motion sensors in grazing cattle. *Comput. Electron. Agric.* 110, 91–102. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2014.10.018>
- Gordon, K., Siegmann, M., 1991. Suckling behaviour of ewes in early lactation. *Physiol. Behav.* 50, 1079–1081. [https://doi.org/10.1016/0031-9384\(91\)90442-Q](https://doi.org/10.1016/0031-9384(91)90442-Q)
- Gorgulu, M., Boga, M., Sahinler, S., Kilic, U., Darcan, N., 2011. Meal criterion and feeding behaviour in sheep and goats. *Options Méditerranéennes, Série A*, 99,31–34.

- Graf, P.M., Wilson, R.P., Qasem, L., Hackländer, K., Rosell, F., 2015. The use of acceleration to code for animal behaviours; a case study in free-ranging Eurasian beavers *Castor fiber*. *PLoS One* 10, 1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0136751>
- Grant, R.J., Albright, J.L., 1995. Feeding Behavior and Mangement Factors During the Transition Period in Dairy Cattle. *J. Anim. Sci.* 73, 2791–2803. <https://doi.org/https://doi.org/10.2527/1995.7392791x>
- Grant, R.J., Albright, J.L., 2001. Effect of animal grouping on feeding behavior and intake of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 84, E156–E163. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(01\)70210-x](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(01)70210-x)
- Greenwood, P.L., Valencia, P., Overs, L., Paull, D.R., Purvis, I.W., 2014. New ways of measuring intake, efficiency and behaviour of grazing livestock. *Anim. Prod. Sci.* 54, 1796–1804. <https://doi.org/10.1071/AN14409>
- Grinter, L.N., Campler, M.R., Costa, J.H.C., 2019. Technical note: Validation of a behavior-monitoring collar's precision and accuracy to measure rumination, feeding, and resting time of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 102, 3487–3494. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15563>
- Guo, W., Li, Y., Wang, L., Wang, J., Xu, Q., Yan, T., Xue, B., 2015. Evaluation of composition and individual variability of rumen microbiota in yaks by 16S rRNA high-throughput sequencing technology. *Anaerobe* 34, 74–79. <https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2015.04.010>
- Gutmann, A.K., Špinka, M., Winckler, C., 2015. Long-term familiarity creates preferred social partners in dairy cows. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 169, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2015.05.007>
- Hamadeh, S.K., Rawda, N., Jaber, L.S., Habre, A., Abi Said, M., Barbour, E.K., 2006. Physiological responses to water restriction in dry and lactating Awassi ewes. *Livest. Sci.* 101, 101–109. <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2005.09.016>
- Hammell, K.L., Metz, J.H.M., Mekking, P., 1988. Sucking behaviour of dairy calves fed milk ad libitum by bucket or teat. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 20, 275–285. [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(88\)90052-4](https://doi.org/10.1016/0168-1591(88)90052-4)
- Hart, B.L., 1988. Biological basis of the behavior of sick animals. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 12, 123–137. [https://doi.org/10.1016/S0195-5616\(91\)50028-0](https://doi.org/10.1016/S0195-5616(91)50028-0)
- Haschick, S.L., Kerley, G.I.H., 1996. Experimentally determined foraging heights of buschbuck *Tragelaphus scriptus* and boergoats *Capra hircus*. *South African J. Wildl. Res.* 26, 64–65.
- Haselmann, A., Zehetgruber, K., Fuerst-Waltl, B., Zollitsch, W., Knaus, W., Zebeli, Q., 2019. Feeding forages with reduced particle size in a total mixed ration improves feed intake, total-tract digestibility, and performance of organic dairy cows. *J. Dairy Sci.* 102, 8839–8849. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-16191>
- Haskell, M.J., Simm, G., Turner, S.P., 2014. Genetic selection for temperament traits in dairy and beef cattle. *Front. Genet.* 5, 1–18. <https://doi.org/10.3389/fgene.2014.00368>

- Henderson, G., Cox, F., Ganesh, S., Jonker, A., Young, W., Janssen, P.H., Abecia, L., Angarita, E., Aravena, P., Arenas, G.N., Ariza, C., Attwood, G.T., Avila, J.M., Avila-Stagno, J., Bannink, A., Barahona, R., Batistotti, M., Bertelsen, M.F., Brown-Kav, A., Carvajal, A.M., Cersosimo, L., Chaves, A.V., Church, J., Clipson, N., Cobos-Peralta, M.A., Cookson, A.L., Cravero, S., Carballo, O.C., Crosley, K., Cruz, G., Cucchi, M.C., De La Barra, R., De Menezes, A.B., Detmann, E., Dieho, K., Dijkstra, J., Dos Reis, W.L.S., Dugan, M.E.R., Ebrahimi, S.H., Eythórsdóttir, E., Fon, F.N., Fraga, M., Franco, F., Friedeman, C., Fukuma, N., Gagić, D., Gangnat, I., Grilli, D.J., Guan, L.L., Miri, V.H., Hernandez-Sanabria, E., Gomez, A.X.I., Isah, O.A., Ishaq, S., Jami, E., Jelincic, J., Kantanen, J., Kelly, W.J., Kim, S.H., Klieve, A., Kobayashi, Y., Koike, S., Kopecny, J., Kristensen, T.N., Krizsan, S.J., LaChance, H., Lachman, M., Lamberson, W.R., Lambie, S., Lassen, J., Leahy, S.C., Lee, S.S., Leiber, F., Lewis, E., Lin, B., Lira, R., Lund, P., Macipe, E., Mamuad, L.L., Mantovani, H.C., Marcoppido, G.A., Márquez, C., Martin, C., Martinez, G., Martinez, M.E., Mayorga, O.L., McAllister, T.A., McSweeney, C., Mestre, L., Minnee, E., Mitsumori, M., Mizrahi, I., Molina, I., Muenger, A., Munoz, C., Murovec, B., Newbold, J., Nsereko, V., O'Donovan, M., Okunade, S., O'Neill, B., Ospina, S., Ouwerkerk, D., Parra, D., Pereira, L.G.R., Pinares-Patino, C., Pope, P.B., Poulsen, M., Rodehutsord, M., Rodriguez, T., Saito, K., Sales, F., Sauer, C., Shingfield, K., Shoji, N., Simunek, J., Stojanović-Radić, Z., Stres, B., Sun, X., Swartz, J., Tan, Z.L., Tapio, I., Taxis, T.M., Tomkins, N., Ungerfeld, E., Valizadeh, R., Van Adrichem, P., Van Hamme, J., Van Hoven, W., Waghorn, G., Wallace, R.J., Wang, M., Waters, S.M., Keogh, K., Witzig, M., Wright, A.D.G., Yamano, H., Yan, T., Yanez-Ruiz, D.R., Yeoman, C.J., Zambrano, R., Zeitz, J., Zhou, M., Zhou, H.W., Zou, C.X., Zunino, P., 2015. Rumen microbial community composition varies with diet and host, but a core microbiome is found across a wide geographical range. *Sci. Rep.* 5. <https://doi.org/10.1038/srep14567>
- Hepola, H., Hänninen, L., Pursiainen, P., Tuure, V.M., Syrjälä-Qvist, L., Pyykkönen, M., Saloniemi, H., 2006. Feed intake and oral behaviour of dairy calves housed individually or in groups in warm or cold buildings. *Livest. Sci.* 105, 94–104. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.04.033>
- Hill, T.M., Suarez-Mena, F.X., Hu, W., Dennis, T.S., Schlotterbeck, R.L., Timms, L.L., Hulbert, L.E., 2017. TECHNICAL NOTE: Evaluation of an ear-attached movement sensor to record rumination, eating, and activity behaviors in 1-month-old calves. *Prof. Anim. Sci.* 33, 743–747. <https://doi.org/10.15232/pas.2017-01623>
- Hinch, G.N., 1989. The sucking behaviour of triplet, twin and single lambs at pasture. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 22, 39–48. [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(89\)90078-6](https://doi.org/10.1016/0168-1591(89)90078-6)
- Hnatiuc, M., Caracostea, M., 2017. Automatic Calf Feeder System. *Int. J. Model. Optim.* 7, 218–223. <https://doi.org/10.7763/ijmo.2017.v7.587>
- Hofmann, R.R., 1989. Evolutionary steps of ecophysiological adaptation and diversification of ruminants: a comparative view of their digestive system. *Oecologia* 78, 443–457.
- Holter, J.B., Urban, W.E., 1992. Water Partitioning and Intake Prediction in Dry and Lactating

- Holstein Cows. *J. Dairy Sci.* 75, 1472–1479. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(92\)77904-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(92)77904-1)
- Hötzel, M.J., Longo, C., Balcao, L.F., Cardoso, C.S., Costa, J.H.C., 2014. A Survey of Management Practices That Influence Performance and Welfare of Dairy Calves Reared in Southern Brazil. *PLoS One* 9, 1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0114995>
- Hughes, B.Y.G.P., Reid, D., 1951. Studies on the behaviour of cattle and sheep in relation to the utilization of grass. *J. Agric. Sci.* 41, 350–366. <https://doi.org/10.1017/S0021859600049534>
- Hulbert, L.E., Carroll, J.A., Burdick, N.C., Randel, R.D., Brown, M.S., Ballou, M.A., 2011. Innate immune responses of temperamental and calm cattle after transportation. *Vet. Immunol. Immunopathol.* 143, 66–74. <https://doi.org/10.1016/j.vetimm.2011.06.025>
- Huzzey, J.M., Veira, D.M., Weary, D.M., Von Keyserlingk, M.A.G., 2007. Prepartum behavior and dry matter intake identify dairy cows at risk for metritis. *J. Dairy Sci.* 90, 3220–3233. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-807>
- Iason, G.R., Sim, D.A., Gordon, I.J., 2000. Do endogenous seasonal cycles of food intake influence foraging behaviour and intake by grazing sheep? *Funct. Ecol.* 14, 614–622. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.2000.t01-1-00462.x>
- IDELE, 2014. Elevage de la chevre - coût de l'alimentation. <https://www.idele.fr>
- INRA. 2018. INRA feeding system for ruminants. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, the Netherlands.
- Institut de l'élevage, FCL, 2019. Résultats De Contrôle Laitier - Espèce Caprine - France. http://idele.fr/no_cache/recherche/publication/idelesolr/recommends/resultats-de-controle-laitier-france-2019.html
- Jaber, L.S., Habre, A., Rawda, N., Abi Said, M., Barbour, E.K., Hamadeh, S., 2004. The effect of water restriction on certain physiological parameters in Awassi sheep. *Small Rumin. Res.* 54, 115–120. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2003.11.004>
- Jami, E., Israel, A., Kotser, A., Mizrahi, I., 2013. Exploring the bovine rumen bacterial community from birth to adulthood. *ISME J.* 7, 1069–1079. <https://doi.org/10.1038/ismej.2013.2>
- Jami, E., White, B.A., Mizrahi, I., 2014. Potential role of the bovine rumen microbiome in modulating milk composition and feed efficiency. *PLoS One* 9. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0085423>
- Jarrige, R., Dulphy, J. P., Faverdin, P., Baumont, R., Demarquilly, C., 1995. Activités d'ingestion et de rumination. *Nutrition des ruminants domestiques*. INRA éditions, Paris, France, 123-182.
- Jasper, J., Weary, D.M., 2002. Effects of ad libitum milk intake on dairy calves. *J. Dairy Sci.* 85, 3054–3058. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74391-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74391-9)
- Jean-Blain, C., 2002. Introduction à la nutrition des animaux domestiques. Tec & Doc Lavoisier.

- Jensen, P., 2002. The ethology of domestic animals: an introductory text. Cabi.
- Jensen, M.B., 2009. Milk meal pattern of dairy calves is affected by computer-controlled milk feeder set-up. *J. Dairy Sci.* 92, 2906–2910. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1748>
- Johnston, C., DeVries, T.J., 2018. Short communication: Associations of feeding behavior and milk production in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 101, 3367–3373. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13743>
- Jørgensen, G.H.M., Andersen, I.L., Bøe, K.E., 2007. Feed intake and social interactions in dairy goats-The effects of feeding space and type of roughage. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 107, 239–251. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2006.10.007>
- Kadzere, C.T., Murphy, M.R., Silanikove, N., Maltz, E., 2002. Heat stress in lactating dairy cows: A review. *Livest. Prod. Sci.* 77, 59–91. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(01\)00330-X](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(01)00330-X)
- Keil, N.M., Pommereau, M., Patt, A., Wechsler, B., Gygax, L., 2017. Determining suitable dimensions for dairy goat feeding places by evaluating body posture and feeding reach. *J. Dairy Sci.* 100, 1–10. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-10980>
- Kenney, P.A., Black, J.L., 1984. Factors affecting diet selection by sheep. IV* Level of feeding. *Aust. J. Agric. Res.* 35, 839–843. <https://doi.org/10.1071/AR9840839>
- Keyserlingk, M.A.G. Von, Brusius, L., Weary, D. M., 2004. Competition for teats and feeding behavior by group-housed dairy calves. *Journal of dairy science*, 87, 4190-4194. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73563-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73563-8)
- Keyserlingk, M.A.G. Von, Weary, D.M., 2010. Feeding behaviour of dairy cattle : Measures and applications. *Canadian journal of animal science* 90, 303-309. <https://doi.org/10.4141/CJAS09127>
- King, M.T.M., Crossley, R.E., DeVries, T.J., 2016. Impact of timing of feed delivery on the behavior and productivity of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 99. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9790>
- Klerkx, L., Jakku, E., Labarthe, P., 2019. A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda. *NJAS-Wageningen J. Life Sci.* 90–91, 100315. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.100315>
- Koltes, J.E., Cole, J.B., Clemmens, R., Dilger, R.N., Kramer, L.M., Lunney, J.K., McCue, M.E., McKay, S.D., Mateescu, R.G., Murdoch, B.M., Reuter, R., Rexroad, C.E., Rosa, G.J.M., Serão, N.V.L., White, S.N., Woodward-Greene, M.J., Worku, M., Zhang, H., Reecy, J.M., 2019. A Vision for Development and Utilization of High-Throughput Phenotyping and Big Data Analytics in Livestock. *Front. Genet.* 10, 1–14. <https://doi.org/10.3389/fgene.2019.01197>
- Kyriazakis, I., Tolkamp, B.J., Emmans, G., 1999. Diet selection and animal state: An integrative framework. *Proc. Nutr. Soc.* 58, 765–772. <https://doi.org/10.1017/S0029665199001044>
- Landau, S., Silanikove, N., Nitsan, Z., Barkai, D., Baram, H., Provenza, F.D., Perevolotsky, A., 2000. Short-term changes in eating patterns explain the effects of condensed tannins on feed intake in heifers. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 69, 199–213. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(00\)00125-8](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(00)00125-8)

- Langbein, J., Siebert, K., Nürnberg, G., Manteuffel, G., 2007. Learning to Learn During Visual Discrimination in Group Housed Dwarf Goats (*Capra hircus*). *J. Comp. Psychol.* 121, 447–456. <https://doi.org/10.1037/0735-7036.121.4.447>
- Lee, J., Jin, L., Park, D., Chung, Y., 2016. Automatic recognition of aggressive behavior in pigs using a kinect depth sensor. *Sensors (Switzerland)* 16. <https://doi.org/10.3390/s16050631>
- Legarto, J., Bossis, N., Lefrileux, Y., 2014. L'utilisation combinée des indicateurs issus de l'observation des chèvres laitières, du rationnement du troupeau et de l'analyse environnementale. *Innov. Agron.* 34, 389–402.
- Le Neindre, P., Petit, M., Müller, A., Pecatte, G., Gallard, Y., 1976. Quantité d'herbe et de lait consommées par des veaux au pis. *Annales de zootechnie, INRA/EDP Sciences* 25, 521–531
- Le Neindre, P., Guémené, D., Arnould, C., Leterrier, C., Faure, J. M., Prunier, A., Meunier-Salaün, M. C., 2004. Space, environmental design and behaviour: Effect of space and environment on animal welfare. In *Global conference on animal welfare: an OIE initiative*, 23–25.
- Llonch, P., Somarriba, M., Duthie, C.A., Troy, S., Roehe, R., Rooke, J., Haskell, M.J., Turner, S.P., 2018. Temperament and dominance relate to feeding behaviour and activity in beef cattle: Implications for performance and methane emissions. *Animal* 12, 2639–2648. <https://doi.org/10.1017/S1751731118000617>
- Loor, J.J., Elolimy, A.A., McCann, J.C., 2016. Dietary impacts on rumen microbiota in beef and dairy production. *Anim. Front.* 6, 22–29. <https://doi.org/10.2527/af.2016-0030>
- Lu, C.D., 1988. Grazing Behavior and Diet Selection of Goats. *Small Rumin. Res.* 1, 205–216. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0921-4488\(88\)90049-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0921-4488(88)90049-1)
- Lu, C.D., Potchoiba, M.J., 1988. Milk feeding and weaning of goat kids - A review. *Small Rumin. Res.* 1, 105–112. [https://doi.org/10.1016/0921-4488\(88\)90025-9](https://doi.org/10.1016/0921-4488(88)90025-9)
- Lu, C.D., 1989. Effects of heat stress on goat production. *Small Rumin. Res.* 2, 151–162. [https://doi.org/10.1016/0921-4488\(89\)90040-0](https://doi.org/10.1016/0921-4488(89)90040-0)
- Lu, C.D., Kawas, J.R., Mahgoub, O.G., 2005. Fibre digestion and utilization in goats. *Small Rumin. Res.* 60, 45–52. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.06.035>
- Luchterhand, K.M., Silva, P.R.B., Chebel, R.C., Endres, M.I., 2016. Association between prepartum feeding behavior and periparturient health disorders in dairy cows. *Front. Vet. Sci.* 3, 1–8. <https://doi.org/10.3389/fvets.2016.00065>
- Lyte, M., 2013. Microbial Endocrinology in the Microbiome-Gut-Brain Axis: How Bacterial Production and Utilization of Neurochemicals Influence Behavior. *PLoS Pathog.* 9, 9–11. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1003726>
- Macmillan, K., Espinoza, O.S., Oba, M., 2018. The effects of photoperiod on feeding behavior of lactating dairy cows in tie-stalls. *Prof. Anim. Sci.* 34, 103–107. <https://doi.org/10.15232/pas.2017-01674>

- Maekawa, M., Beauchemin, K.A., Christensen, D.A., 2002. Effect of concentrate level and feeding management on chewing activities, saliva production, and ruminal pH of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 85, 1165–1175. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74179-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74179-9)
- Malmuthuge, N., Guan, L.L., 2017. Understanding host-microbial interactions in rumen: Searching the best opportunity for microbiota manipulation. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 8, 1–7. <https://doi.org/10.1186/s40104-016-0135-3>
- Maloiy, G.M.O., Kanui, T.I., Towett, P.K., Wambugu, S.N., Miaron, J.O., Wanyoike, M.M., 2008. Effects of dehydration and heat stress on food intake and dry matter digestibility in East African ruminants. *Comp. Biochem. Physiol. - A Mol. Integr. Physiol.* 151, 185–190. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2008.06.019>
- Mandel, R., Nicol, C.J., Whay, H.R., Klement, E., 2017. Short communication: Detection and monitoring of metritis in dairy cows using an automated grooming device. *J. Dairy Sci.* 100, 5724–5728. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12201>
- Martin, P., Bateson, P.P.G., 1993. *An Introductory Guide to Measuring Behaviour*. Cambridge University Press.
- Mayer, E.A., 2011. Gut feelings: The emerging biology of gut-"brain communication. *Nat. Rev. Neurosci.* 12, 453–466. <https://doi.org/10.1038/nrn3071>
- Melin, M., Svennersten-Sjaunja, K., Wiktorsson, H., 2005a. Feeding patterns and performance of cows in controlled cow traffic in automatic milking systems. *J. Dairy Sci.* 88, 3913–3922. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)73077-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)73077-0)
- Melin, M., Wiktorsson, H., Norell, L., 2005b. Analysis of feeding and drinking patterns of dairy cows in two cow traffic situations in automatic milking systems. *J. Dairy Sci.* 88, 71–85. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72664-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72664-3)
- Mellado, M., Rodríguez, A., Villarreal, J.A., Olvera, A., 2005a. The effect of pregnancy and lactation on diet composition and dietary preference of goats in a desert rangeland. *Small Rumin. Res.* 58, 79–85. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2004.07.014>
- Mellado, M., Rodríguez, A., Villarreal, J.A., Rodríguez, R., Salinas, J., López, R., 2005b. Gender and tooth wear effects on diets of grazing goats. *Small Rumin. Res.* 57, 105–114. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2004.03.009>
- Meyer, S., Nürnberg, G., Puppe, B., Langbein, J., 2012. The cognitive capabilities of farm animals: Categorisation learning in dwarf goats (*Capra hircus*). *Anim. Cogn.* 15, 567–576. <https://doi.org/10.1007/s10071-012-0485-y>
- Miguel-Pacheco, G.G., Kaler, J., Remnant, J., Cheyne, L., Abbott, C., French, A.P., Pridmore, T.P., Huxley, J.N., 2014. Behavioural changes in dairy cows with lameness in an automatic milking system. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 150, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2013.11.003>
- Miller-Cushon, E.K., Bergeron, R., Leslie, K.E., DeVries, T.J., 2013. Effect of milk feeding level on development of feeding behavior in dairy calves. *J. Dairy Sci.* 96, 551–564.

- <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5937>
- Miller-Cushon, E.K., Bergeron, R., Leslie, K.E., Mason, G.J., DeVries, T.J., 2014. Competition during the milk-feeding stage influences the development of feeding behavior of pair-housed dairy calves. *J. Dairy Sci.* 97, 6450–6462. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8065>
- Miller-Cushon, E.K., DeVries, T.J., 2015. Invited review: Development and expression of dairy calf feeding behaviour. *Can. J. Anim. Sci.* 95, 341–350. <https://doi.org/10.4141/CJAS-2014-163>
- Miller-Cushon, E.K., DeVries, T.J., 2016. Effect of social housing on the development of feeding behavior and social feeding preferences of dairy calves. *J. Dairy Sci.* 99, 1406–1417. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9869>
- Miranda-de la Lama, G.C., Mattiello, S., 2010. The importance of social behaviour for goat welfare in livestock farming. *Small Rumin. Res.* 90, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2010.01.006>
- Miranda-de la Lama, G.C., Sepúlveda, W.S., Montaldo, H.H., María, G.A., Galindo, F., 2011. Social strategies associated with identity profiles in dairy goats. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 134, 48–55. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2011.06.004>
- Miranda-de la Lama, G.C., Villarroel, M., María, G.A., 2012. Behavioural and physiological profiles following exposure to novel environment and social mixing in lambs. *Small Rumin. Res.* 103, 158–163. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.08.007>
- Morand-Fehr, P., Sauvant, D., 1991. Goat nutrition. Wageningen Pudoc.
- Morand-Fehr, P., 2003. Dietary choices of goats at the trough. *Small Rumin. Res.* 49, 231–239. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(03\)00141-X](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(03)00141-X)
- Morand-Fehr, P., 2005. Recent developments in goat nutrition and application: A review. *Small Rumin. Res.* 60, 25–43. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.06.004>
- Muna, M.M.A., Ammar, I.E.S., 2001. Effects of water and feed restriction on body weight change and nitrogen balance in desert goats fed high and low quality forages. *Small Rumin. Res.* 41, 19–27. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(01\)00181-X](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(01)00181-X)
- Muri, K., Stubbsj en, S.M., Valle, P.S., 2013. Development and testing of an on-farm welfare assessment protocol for dairy goats. *Anim. Welf.* 22, 385–400. <https://doi.org/10.7120/09627286.22.3.385>
- Nagata, R., Kim, Y.H., Ohkubo, A., Kushibiki, S., Ichijo, T., Sato, S., 2018. Effects of repeated subacute ruminal acidosis challenges on the adaptation of the rumen bacterial community in Holstein bulls. *J. Dairy Sci.* 101, 4424–4436. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13859>
- Neave, H.W., Costa, J.H.C., Weary, D.M., von Keyserlingk, M.A.G., 2018a. Personality is associated with feeding behavior and performance in dairy calves. *J. Dairy Sci.* 101, 7437–7449. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14248>
- Neave, H.W., von Keyserlingk, M.A.G., Weary, D.M., Zobel, G., 2018b. Feed intake and behavior of dairy goats when offered an elevated feed bunk. *J. Dairy Sci.* 101, 3303–

3310. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13934>
- Neethirajan, S., 2017. Recent advances in wearable sensors for animal health management. *Sens. Bio-Sensing Res.* 12, 15–29. <https://doi.org/10.1016/j.sbsr.2016.11.004>
- Neuman, H., Debelius, J.W., Knight, R., Koren, O., 2015. Microbial endocrinology: The interplay between the microbiota and the endocrine system. *FEMS Microbiol. Rev.* 39, 509–521. <https://doi.org/10.1093/femsre/fuu010>
- Ngwa, A.T., Pone, D.K., Mafeni, J.M., 2000. Feed selection and dietary preferences of forage by small ruminants grazing natural pastures in the Sahelian zone of Cameroon. *Anim. Feed Sci. Technol.* 88, 253–266. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(00\)00215-7](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(00)00215-7)
- Nicol, A. M., Sharafeldin, M. A., 1975. Observations on the behaviour of single suckled calves from birth to 120 days. In *Proc NZ Soc Anim Prod* 35, 221–230
- Nielsen, B.L., Lawrence, A.B., Whittemore, C.T., 1996. Feeding behaviour of growing pigs using single or multi-space feeders. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 47, 235–246. [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(95\)00649-4](https://doi.org/10.1016/0168-1591(95)00649-4)
- Nielsen, B.L., 1999. On the interpretation of feeding behaviour measures and the use of feeding rate as an indicator of social constraint. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 63, 79–91. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(99\)00003-9](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(99)00003-9)
- Nielsen, B.L., Cellier, M., Duvaux-Ponter, C., Giger-Reverdin, S., in revision. Dairy goats adjust their meal patterns to the fibre content of the diet. *Animal*
- Nkrumah, J.D., Crews, D.H., Basarab, J.A., Price, M.A., Okine, E.K., Wang, Z., Li, C., Moore, S.S., 2007. Genetic and phenotypic relationships of feeding behavior and temperament with performance, feed efficiency, ultrasound, and carcass merit of beef cattle. *J. Anim. Sci.* 85, 2382–2390. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-657>
- Nocek, J.E., Braund, D.G., 1985. Effect of Feeding Frequency on Diurnal Dry Matter and Water Consumption, Liquid Dilution Rate, and Milk Yield in First Lactation. *J. Dairy Sci.* 68, 2238–2247. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(85\)81096-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(85)81096-1)
- Nolan, T., Nastis, A., 1997. Some aspects of the use of vegetation by grazing sheep and goats. *Options Méditerranéennes Série A* 34, 11–25.
- Nordmann, E., Barth, K., Futschik, A., Palme, R., Waiblinger, S., 2015. Head partitions at the feed barrier affect behaviour of goats. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 167, 9–19. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2015.03.011>
- O'Brien, M.D., Rhoads, R.P., Sanders, S.R., Duff, G.C., Baumgard, L.H., 2010. Metabolic adaptations to heat stress in growing cattle. *Domest. Anim. Endocrinol.* 38, 86–94. <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2009.08.005>
- Odde, K.G., Kiracofe, G.H., Schalles, R.R., 1985. Suckling behavior in range beef calves. *J. Anim. Sci.* 61, 307–309. <https://doi.org/10.2527/jas1985.612307x>
- Ouédraogo-Koné, S., Kaboré-Zoungrana, C.Y., Ledin, I., 2006. Behaviour of goats, sheep and cattle on natural pasture in the sub-humid zone of West Africa. *Livest. Sci.* 105, 244–252. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.06.010>

- Owens, F.N., Secrist, D.S., Hill, W.J., Gill, D.R., 1998. Acidosis in Cattle: A Review. *J. Anim. Sci.* 76, 275–286. <https://doi.org/10.2527/1998.761275x>
- Papachristou, T.G., Platis, P.D., Nastis, A.S., 2005. Foraging behaviour of cattle and goats in oak forest stands of varying coppicing age in Northern Greece. *Small Rumin. Res.* 59, 181–189. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.05.006>
- Papst, F., Saukh, O., Romer, K., Grandl, F., Jakovljevic, I., Steininger, F., Mayerhofer, M., Duda, J., Egger-Danner, C., 2019. Embracing Opportunities of livestock big data integration with privacy constraints. *ACM Int. Conf. Proceeding Ser.* 12–15. <https://doi.org/10.1145/3365871.3365900>
- Penning, P.D., Gibb, M.J., 1979. The effect of milk intake on the intake of cut and grazed herbage by lambs. *Anim. Prod.* 29, 53–67. <https://doi.org/10.1017/S0003356100012150>
- Penning, P.D., Rook, A.J., Orr, R.J., 1991. Patterns of ingestive behaviour of sheep continuously stocked on monocultures of ryegrass or white clover. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 31, 237–250. [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(91\)90008-L](https://doi.org/10.1016/0168-1591(91)90008-L)
- Polsky, L., von Keyserlingk, M.A.G., 2017. Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. *J. Dairy Sci.* 100, 8645–8657. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12651>
- Pritchard, R. H., Bruns, K. W., 2003. Controlling variation in feed intake through bunk management. *Journal of Animal Science*, 81(14_suppl_2), E133-E138. https://doi.org/10.2527/2003.8114_suppl_2E133x
- Puzio, N., Purwin, C., Nogalski, Z., Białołbrzewski, I., Tomczyk, Ł., Michalski, J.P., 2019. The effects of age and gender (bull vs steer) on the feeding behavior of young beef cattle fed grass silage. *Asian-Australasian J. Anim. Sci.* 32, 1211–1218. <https://doi.org/10.5713/ajas.18.0698>
- Rapetti, L., Bava, L., 2007. Feeding management of dairy goats in intensive systems. *Dairy Goats, Feed. Nutr.* 221–237. <https://doi.org/10.1079/9781845933487.0221>
- Réale, D., Reader, S.M., Sol, D., McDougall, P.T., Dingemanse, N.J., 2007. Integrating animal temperament within ecology and evolution. *Biol. Rev.* 82, 291–318. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2007.00010.x>
- Reiter, S., Sattlecker, G., Lidauer, L., Kicking, F., Öhlschuster, M., Auer, W., Schweinzer, V., Klein-Jöbstl, D., Drillich, M., Iwersen, M., 2018. Evaluation of an ear-tag-based accelerometer for monitoring rumination in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 101, 3398–3411. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12686>
- Rhee, S.H., Pothoulakis, C., Mayer, E.A., 2009. Principles and clinical implications of the brain-gut-enteric microbiota axis. *Nat. Rev. Gastroenterol. Hepatol.* 6, 306–314. <https://doi.org/10.1038/nrgastro.2009.35.Principles>
- Ricard, E., Marie-Etancelin, C., Bompas, J.F., Staub, C., Venturi, E., 2018. L'identification électronique des animaux. *Cah. des Tech. l'INRA* 91–95.
- Robles, V., González, L.A., Ferret, A., Manteca, X., Calsamiglia, S., 2007. Effects of feeding frequency on intake, ruminal fermentation, and feeding behavior in heifers fed high-

- concentrate diets. *J. Anim. Sci.* 85, 2538–2547. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-739>
- Rook, A.J., Penning, P.D., 1991. Synchronisation of eating, ruminating and idling activity by grazing sheep. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 32, 157–166. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(05\)80039-5](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(05)80039-5)
- Rubino, R., Pizzillo, M., Claps, S., Boyazoglu, J., 2011. Goats, in: *In Encyclopedia of Dairy Sciences*. Fuquay J., P. Fox, and P. McSweeney.
- Rutter, S.M., Orr, R.J., Penning, P.D., Yarrow, N.H., Champion, R.A., 2002. Ingestive behaviour of heifers grazing monocultures of ryegrass or white clover. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 76, 1–9. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(01\)00205-2](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(01)00205-2)
- Sanon, H.O., Kaboré-Zoungana, C., Ledin, I., 2007. Behaviour of goats, sheep and cattle and their selection of browse species on natural pasture in a Sahelian area. *Small Rumin. Res.* 67, 64–74. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.09.025>
- Sarkar, A., Lehto, S.M., Harty, S., Dinan, T.G., Cryan, J.F., Burnet, P.W.J., 2016. Psychobiotics and the Manipulation of Bacteria–Gut–Brain Signals. *Trends Neurosci.* 39, 763–781. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2016.09.002>
- Šárová, R., Špinka, M., Stěhulová, I., Ceacero, F., Šimečková, M., Kotrba, R., 2013. Pay respect to the elders: Age, more than body mass, determines dominance in female beef cattle. *Anim. Behav.* 86, 1315–1323. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2013.10.002>
- Schären, M., Kiri, K., Riede, S., Gardener, M., Meyer, U., Hummel, J., Urich, T., Breves, G., Dänicke, S., 2017. Alterations in the rumen liquid-, particle- and epithelium-associated microbiota of dairy cows during the transition from a silage- and concentrate-based ration to pasture in spring. *Front. Microbiol.* 8. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00744>
- Schirmann, K., Chapinal, N., Weary, D.M., Heuwieser, W., von Keyserlingk, M.A.G., 2012. Rumination and its relationship to feeding and lying behavior in Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* 95, 3212–3217. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4741>
- Schneider, P.L., Beede, D.K., Wilcox, C.J., 1988. Nycterohemeral patterns of acid-base status, mineral concentrations and digestive function of lactating cows in natural or chamber heat stress environments. *J. Anim. Sci.* 66, 112–125. <https://doi.org/10.2527/jas1988.661112x>
- Scholtens, M.R., Smith, R.M., Lopez-Lozano, S.R., Lopez-Villalobos, N., Burt, D., Harper, L., Tuohy, M., Thomas, D.G., Carr, A.J., Gray, D.I., Tozer, P., Schreurs, N.M., 2017. Brief communication: The current state of the New Zealand goat industry. *Proc. New Zeal. Soc. Anim. Prod.* 77, 167–168.
- Schwartzkopf-Genswein, K.S., Huisma, C., McAllister, T.A., 1999. Validation of a radio frequency identification system for monitoring the feeding patterns of feedlot cattle. *Livest. Prod. Sci.* 60, 27–31. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(99\)00047-0](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(99)00047-0)
- Schwartzkopf-Genswein, K.S., Atwood, S., McAllister, T.A., 2002. Relationships between bunk attendance, intake and performance of steers and heifers on varying feeding regimes.

- Appl. Anim. Behav. Sci. 76, 179–188. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(02\)00009-6](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(02)00009-6)
- Schwartzkopf-Genswein, K.S., Beauchemin, K.A., Gibb, D., Crews, D., Hickman, D., Streeter, M., McAllister, T., 2003. Effect of bunk management on feeding behavior, ruminal acidosis and performance of feedlot cattle: A review. *J. Anim. Sci.* 81, E149–E158. https://doi.org/10.2527/2003.8114_suppl_2E149x
- Senn, M., Dürst, B., Kaufmann, A., Langhans, W., 1995. Feeding patterns of lactating cows of three different breeds fed hay, corn silage, and grass silage. *Physiol. Behav.* 58, 229–236. [https://doi.org/10.1016/0031-9384\(95\)00044-J](https://doi.org/10.1016/0031-9384(95)00044-J)
- Senn, M., Gross-luem, S., Kaufmann, A., Langhans, W., 1996. Effect of water deprivation on eating patterns of lactating cows fed grass and corn pellets ad lib. *Physiol. Behav.* 60, 1413–1418. [https://doi.org/10.1016/S0031-9384\(96\)00304-6](https://doi.org/10.1016/S0031-9384(96)00304-6)
- Shepley, E., Berthelot, M., Vasseur, E., 2017. Validation of the ability of a 3D pedometer to accurately determine the number of steps taken by dairy cows when housed in tie-stalls. *Agriculture*, 7(7), 53. <https://doi.org/10.3390/agriculture7070053>
- Shi, J., Dunbar, R.I.M., Buckland, D., Miller, D., 2003. Daytime activity budgets of feral goats (*Capra hircus*) on the Isle of Rum: Influence of season, age, and sex. *Can. J. Zool.* 81, 803–815. <https://doi.org/10.1139/z03-055>
- Shi, P.J., Meng, K., Zhou, Z.G., Wang, Y.R., Diao, Q.Y., Yao, B., 2008. The host species affects the microbial community in the goat rumen. *Lett. Appl. Microbiol.* 46, 132–135. <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2007.02274.x>
- Shinde, A.K., Verma, D.L., Singh, N.P., 2004. Social dominance-subordinate relationship in a flock of Marwari goats. *Indian J. Anim. Sci.* 74, 216–219.
- Siivonen, J., Taponen, S., Hovinen, M., Pastell, M., Lensink, B.J., Pyörälä, S., Hänninen, L., 2011. Impact of acute clinical mastitis on cow behaviour. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 132, 101–106. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2011.04.005>
- Silanikove, N., 1997. Goat production under harsh environmental conditions: the physiological basis and the challenge. *Oppor. Challenges Enhancing Goat Prod. East Africa*.
- Skapetas, B., Bampidis, V., 2016. Goat production in the world: Present situation and trends. *Livest. Res. Rural Dev.* 28.
- Solaiman, S.G., 2010. *Goat Science and Production*. John Wiley & Sons. 446 pages.
- Soto-Navarro, S.A., Krehbiel, C.R., Duff, G.C., Galyean, M.L., Brown, M.S., Steiner, R.L., 2000. Influence of feed intake fluctuation and frequency of feeding on nutrient digestion, digesta kinetics, and ruminal fermentation profiles in limit-fed steers. *J. Anim. Sci.* 78, 2215–2222. <https://doi.org/10.2527/2000.7882215x>
- Steensels, M., Maltz, E., Bahr, C., Berckmans, D., Antler, A., Halachmi, I., 2017. Towards practical application of sensors for monitoring animal health: The effect of post-calving health problems on rumination duration, activity and milk yield. *J. Dairy Res.* 84, 132–138. <https://doi.org/10.1017/S0022029917000176>

- Stephens, D.B., Baldwin, B.A., 1971. Observations on the behaviour of groups of artificially reared lambs. *Res. Vet. Sci.* 12, 219–224. [https://doi.org/10.1016/S0034-5288\(18\)34182-1](https://doi.org/10.1016/S0034-5288(18)34182-1)
- Stobo, B.Y.I.J.F., Roy, J.H.B., Gaston, H.J., 1966. Rumen development in the calf: 1. The effect of diets containing different proportions of concentrates to hay on rumen development. *Br. J. Nutr.* 20, 171–188. <https://doi.org/10.1079/BJN19660021>
- Tamate, H., McGilliard, A.D., Jacobson, N.L., Getty, R., 1962. Effect of various dietaries on the anatomical development of the stomach in the calf. *J. Dairy Sci.* 45, 408–420. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(62\)89406-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(62)89406-5)
- Thivend, P., Fonty, G., Jouany, J.P., Durand, M., Gouet, P., 1985. Le fermenteur rumen. *Reprod. Nutr. Dev.* 25, 729–753.
- Thorup, V.M., Nielsen, B.L., Robert, P.E., Giger-Reverdin, S., Konka, J., Michie, C., Friggens, N.C., 2016. Lameness affects cow feeding but not rumination behavior as characterized from sensor data. *Front. Vet. Sci.* 3, 1–11. <https://doi.org/10.3389/fvets.2016.00037>
- Toates, F. M., 1986. Motivational systems (No. 4). CUP Archive.
- Tolkamp, B.J., Allcroft, D.J., Austin, E.J., Nielsen, B.L., Kyriazakis, I., 1998. Satiety splits feeding behaviour into bouts. *J. Theor. Biol.* 194, 235–250. <https://doi.org/10.1006/jtbi.1998.0759>
- Tolkamp, B.J., Kyriazakis, I., 1999. To split behaviour into bouts, log-transform the intervals. *Anim. Behav.* 57, 807–817. <https://doi.org/10.1006/anbe.1998.1022>
- Val-Laillet, D., Passillé, A.M. de, Rushen, J., von Keyserlingk, M.A.G., 2008. The concept of social dominance and the social distribution of feeding-related displacements between cows. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 111, 158–172. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2007.06.001>
- Vasseur, E., Rushen, J., de Passillé, A.M., 2009. Does a calf's motivation to ingest colostrum depend on time since birth, calf vigor, or provision of heat? *J. Dairy Sci.* 92, 3915–3921. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1823>
- Vasseur, E., Borderas, F., Cue, R.I., Lefebvre, D., Pellerin, D., Rushen, J., Wade, K.M., 2010. A survey of dairy calf management practices in Canada that affect animal welfare. *J. Dairy Sci.* 93, 1307–1316. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2429>
- Veissier, I., Stefanova, I., 1993. Learning to suckle from an artificial teat within groups of lambs: Influence of a knowledgeable partner. *Behav. Processes* 30, 75–82. [https://doi.org/10.1016/0376-6357\(93\)90013-H](https://doi.org/10.1016/0376-6357(93)90013-H)
- Veissier, I., 1996. Intérêts de l'analyse comportementale dans les études de bien-être : le cas des veaux de boucherie. *INRA Prod. Anim.* 9, 103–111.
- Veissier, I., Mialon, M.M., Sloth, K.H., 2017. Short communication: Early modification of the circadian organization of cow activity in relation to disease or estrus. *J. Dairy Sci.* 100, 3969–3974. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11853>
- Veissier, I., Kling-Eveillard, F., Richard, M.M., Silberberg, M., de Boyer des Roches, A., Terlouw,

- C., Ledoux, D., Meunier, B., Hostiou, N., 2019. Élevage de précision et bien-être en élevage : la révolution numérique de l'agriculture permettra-t-elle de prendre en compte les besoins des animaux et des éleveurs ? *INRA Prod. Anim.* 32, 281-290
- Weisbecker, J.L., Lague, M., Marcon, D., Huau, C., Trainini, C., Ruesche, J., Debat, F., Portes, D., Cobo, E., 2018. Les dispositifs de mesures individuelles de la consommation des aliments. *Cah. des Tech. l'INRA* 117–128.
- Welkie, D.G., Stevenson, D.M., Weimer, P.J., 2010. ARISA analysis of ruminal bacterial community dynamics in lactating dairy cows during the feeding cycle. *Anaerobe* 16, 94–100. <https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2009.07.002>
- West, J.W., 2003. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 86, 2131–2144. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73803-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73803-X)
- Yang, W.Z., Beauchemin, K.A., 2007. Altering physically effective fiber intake through forage proportion and particle length: Chewing and ruminal pH. *J. Dairy Sci.* 90, 2826–2838. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0032>
- Zehner, N., Umstätter, C., Niederhauser, J.J., Schick, M., 2017. System specification and validation of a noseband pressure sensor for measurement of ruminating and eating behavior in stable-fed cows. *Comput. Electron. Agric.* 136, 31–41. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.02.021>
- Zeng, Y., Zeng, D., Ni, X., Zhu, H., Jian, P., Zhou, Y., Xu, S., Lin, Y., Li, Y., Yin, Z., Pan, K., Jing, B., 2017. Microbial community compositions in the gastrointestinal tract of Chinese Mongolian sheep using Illumina MiSeq sequencing revealed high microbial diversity. *AMB Express* 7, 1–10. <https://doi.org/10.1186/s13568-017-0378-1>
- Zentall, T. R., Galef, B. G. (Eds.), 1988. *Social learning: Psychological and biological perspectives*. Psychology Press. 357 pages.
- Zilber-Rosenberg, I., Rosenberg, E., 2008. Role of microorganisms in the evolution of animals and plants: The hologenome theory of evolution. *FEMS Microbiol. Rev.* 32, 723–735. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2008.00123.x>
- Zobel, G., Schwartzkopf-Genswein, K.S., Genswein, B.M.A., von Keyserlingk, M.A.G., 2011. Impact of agonistic interactions on feeding behaviours when beef heifers are fed in a competitive feeding environment. *Livest. Sci.* 137, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.09.022>
- Zobel, G., Weary, D.M., Leslie, K., Chapinal, N., von Keyserlingk, M.A.G., 2015. Technical note: Validation of data loggers for recording lying behavior in dairy goats. *J. Dairy Sci.* 98, 1082–1089. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8635>
- Zobel, G., Neave, H.W., Webster, J., 2019. Understanding natural behavior to improve dairy goat (*Capra hircus*) management systems. *Transl. Anim. Sci.* 3, 212–224. <https://doi.org/10.1093/tas/txy145>

Annexes.

Annexe 1 : Congrès ISNH, septembre 2018 – Best Poster Award



GOAT KIDS CAN BE CHARACTERIZED ON THEIR PRE-WEANING FEEDING BEHAVIOUR

Marjorie Cellier¹, Birte L Nielsen¹, Alexandra Eymard¹, Christine Duvaux-Ponter¹

INTRODUCTION

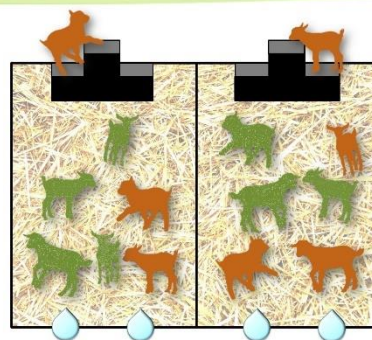
- Livestock systems are developing with the expansion of **automatic recording devices** to **improve individual variation**.
- In adulthood and for the same diet, goats show significant individual variation in **feeding behaviour** (distribution of meals during the day, rate of intake, etc...)

OBJECTIVE

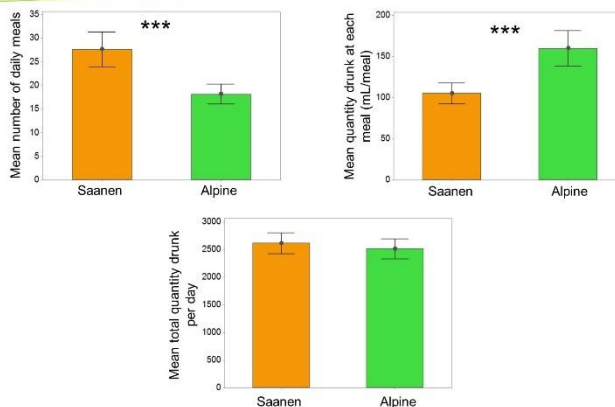
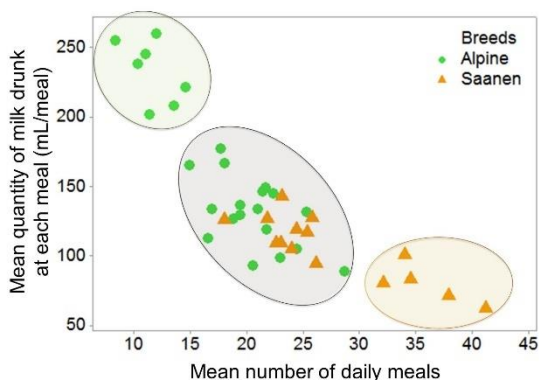
- To find out if a similar **individual variation** was detectable **pre-weaning** with a view to establish **stability of feeding patterns** over time.

MATERIAL & METHODS

- **40 female** goat kids (25 **Alpine** goats + 15 **Saanen** goats)
- Born in January and February 2017
- Automatic milk dispensing device
- An average age of **26.6 days** ± 7.69
- During on average **10.8 days** ± 1.37
- *Ad libitum* access to milk replacer
- In groups of **12 to 14** individuals
- Mixing the two breeds



RESULTS



CONCLUSIONS & PERSPECTIVES

- There is a **difference in milk feeding behaviour** between the **two goat breeds** tested.
- There is a **pre-weaning individual variation** in the **quantity of milk drunk at each meal** and in the **number of daily meals**.
- If feeding patterns are stable over time, this **simple criterion** (feeding behaviour) may give an **early indication** of **adult feeding behaviour phenotype** of dairy goats, and allow early selection of goats by farmer.



¹ UMR Modélisation Systémique Appliquée aux Ruminants – INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, 75005, Paris, FRANCE

✉ marjorie.cellier@agroparistech.fr

in www.linkedin.com/in/marjorie-cellier

ISNH 3-6/09/2018 Clermont-Ferrand



Annexe 2 : Congrès de l'ISAE, août 2019



INDIVIDUAL DIFFERENCES IN FEEDING BEHAVIOUR OF DAIRY GOATS

Marjorie Cellier¹, Christine Duvaux-Ponter¹, Ophélie Dhumez¹, Pierre Blavy¹, Birte L Nielsen¹

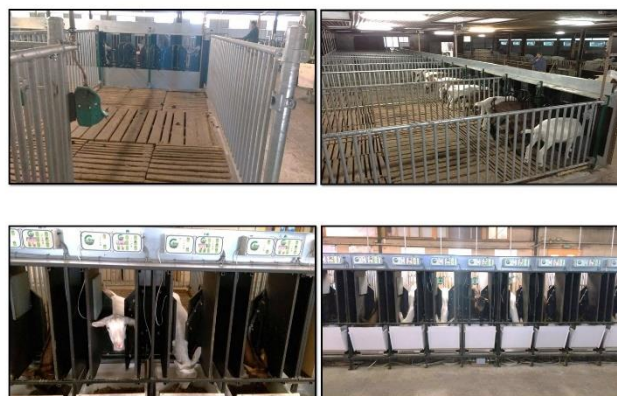
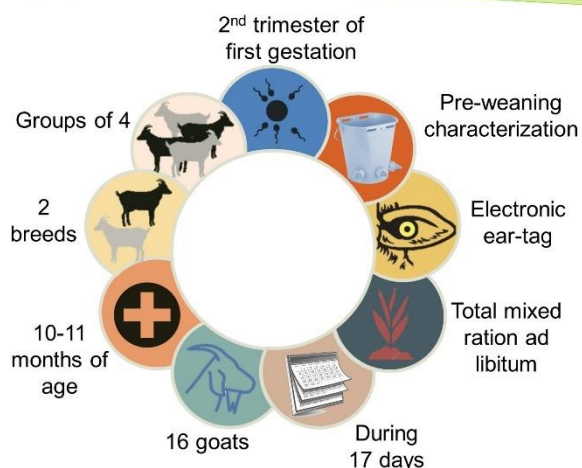
INTRODUCTION

- Detailed recording of ruminant feeding behaviour is becoming more common (automated feeders, electronic ID-tags...) → To phenotype individuals and monitor changes in feeding pattern over time → which may indicate health problems

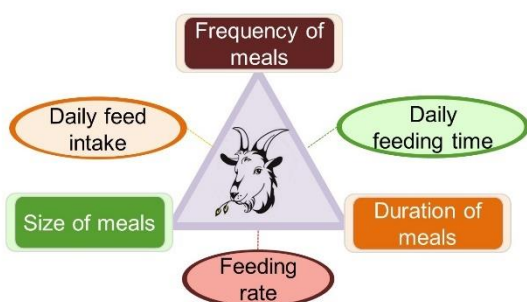
OBJECTIVE

- To investigate if two commonly used breeds of dairy goats (Saanen: n=8; Alpine: n=8) differ in their feeding patterns

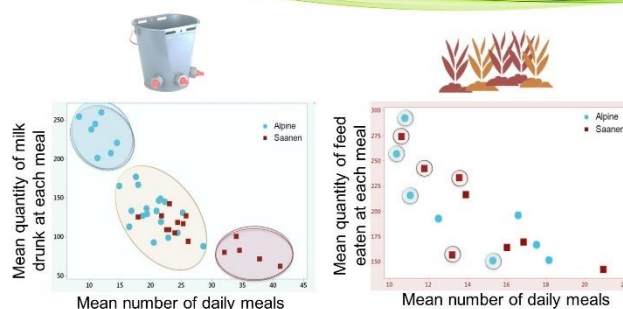
MATERIAL



METHODS



RESULTS



CONCLUSIONS & PERSPECTIVES

- It's not clear why more extreme pre-weaning feeding behaviour would give rise to smaller, more frequent meals when adult.
- More data are currently being gathered to investigate these relationships in more detail.



¹ UMR Modélisation Systémique Appliquée aux Ruminants – INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, 75005, Paris, FRANCE

✉ marjorie.cellier@agroparistech.fr

in www.linkedin.com/in/marjorie-cellier

ISAE 5-9/08/2019 Bergen - Norway



Annexe 3 : Procédure d'utilisation du dispositif de suivi de l'ingestion de l'UMR MoSAR

 Institut National de la Recherche Agronomique UMR 791 MoSAR	PROCEDURE	Code : P-DOC-0xx	 INSTITUT DES SCIENCES ET INDUSTRIES DU VIVANT ET DE L'ENVIRONNEMENT PARIS INSTITUTE OF TECHNOLOGY FOR LIFE, FOOD AND ENVIRONMENTAL SCIENCES
	Utilisation du dispositif de suivi d'ingestion	Version : 1 Date 30/03/2018	

Objet

Cette procédure a pour but de décrire les paramètres par défaut d'utilisation du dispositif de suivi d'ingestion. Ce dispositif inclus les portillons Ilab, les balances baléa et les 2 logiciels associés. Elle décrit également l'adaptation des animaux au dispositif et son utilisation au quotidien.

Domaine d'application

Cette procédure s'applique par défaut lors de l'utilisation du dispositif de suivi d'ingestion et lorsque le protocole expérimental ne précise pas de procédure particulière.

Documents associés

Protocole expérimental en lien avec l'utilisation du dispositif, si des indications entre le protocole expérimental et cette procédure divergent, il faut suivre les indications du protocole expérimental.

Description du processus.

Paramétrage des logiciels

- Les logiciels sont hébergés sur le PC de la salle de réunion de la chèvrerie sous la session Alex avec le mot de passe : 6111
- Ouvrir le dossier Ilab qui est sur le bureau et le logiciel Gestion Ilab
- Pour attribuer les portillons aux chèvres, il faut que le logiciel ne soit pas en train d'enregistrer.
- Pour mettre en pause l'enregistrement, cliquer sur STOPPER (1) puis sur BLOQUER (2) puis sur CYCLE (3).
- À ce moment, les cartes des portillons apparaissent en « bloquées »
- La fenêtre de gauche qui permet de paramétrer n'apparaît plus en grisée.
- Vérifier les paramètres d'ouverture de l'électroaimant, temps avant ouverture 0s et temps d'ouverture 1,5s.
- La fenêtre juste en dessous permet d'attribuer les portillons aux chèvres.

- Numéro de carte : mettre le numéro du portillon, de 1 à 32. Lorsqu'on est face aux portillons/face aux bacs, la numérotation va de gauche à droite.
- Badge à traité : entrer le numéro de la chèvre à 11 chiffres 530062xxxxx
- La fenêtre à côté de l'identification de la chèvre permet d'indiquer le nombre de chèvres ayant accès au portillon, de 1 à 4.
- Une fois ces 3 cases remplies cliquer sur « ATTRIBUER ».
- Faire la même chose pour l'ensemble des portillons à attribuer.
- À la fin de la saisie, cliquer sur « VERIFICATION », le numéro des cartes et le numéro des chèvres s'affichent alors sur la fenêtre de droite.

Paramétrer le logiciel Baléa

- Ouvrir AlimSupervisor en tant qu'administrateur, clic droit « ouvrir en tant qu'administrateur »
- Tare
- Identification bac

Adaptation des chèvres au dispositif

Dans la mesure où le dispositif est utilisé avec des lots de 16 chèvres maximum, ne pas créer de sous lot dans le dispositif pour l'adaptation des chèvres, il est préférable de faire l'adaptation dans les mêmes conditions que le déroulement de l'expérimentation.

Au jour de rédaction de cette procédure, nous n'avons pas testé une adaptation d'un lot plus important. Si le lot d'expérimentation est supérieur à 16 chèvres, il peut être nécessaire de faire l'adaptation en 2 sous lots pour faciliter la tâche.

Dans l'idéal, créer les lots dans l'aire paillée pour que la hiérarchie soit faite avant de monter dans le dispositif et donc ne pas être embêter par les conflits pendant la période d'adaptation.

L'adaptation des chèvres se déroule sur 2 jours avec dans la mesure du possible une montée dans le dispositif dans la matinée.

Jour 1

Ne pas repousser l'aliment le matin de la montée dans le dispositif. Dans le cas où les chèvres seraient mises dans le dispositif l'après-midi, il faut ne pas repousser l'aliment durant les 5h qui précèdent, donc si elles montent après 13h30 on peut repousser une fois l'aliment à 7h. Ecrire au feutre au-dessus de chaque portillon le numéro de la chèvre à qui est attribué le portillon pour permettre à la personne qui se charge de l'adaptation des chèvres de se repérer et de guider la chèvre à son portillon sans erreur.

Avant de mettre les chèvres dans le dispositif, poser le bac contenant l'aliment et une petite gamelle contenant une petite poignée de concentré (orge ou granulés). L'objectif est d'attirer les chèvres avec un aliment très appétant et sonore.

Pour les étapes ci-dessous, il est préférable d'être 2, une personne est dans le lot et emmène les chèvres à leur portillon et l'autre à l'extérieur au niveau des bacs et attire les chèvres avec la petite gamelle de concentré.

On place l'ensemble des chèvres dans le dispositif et on emmène chaque chèvre à son portillon. Lui mettre la tête au niveau de l'antenne de détection et l'aider à ouvrir le cornadis. En même temps, l'autre personne guide la chèvre de l'extérieur en utilisant la gamelle de concentré pour lui faire descendre la tête au niveau du bac d'aliment. Dès que la chèvre commence à manger, s'éloigner d'elle doucement.

On laisse les chèvres découvrir le dispositif 10 min puis on replace dans chaque bac de ration une petite gamelle contenant une poignée de concentré. On fait en sorte de faire du bruit avec le concentré pour les motiver.

On observe 5 min si des chèvres arrivent à trouver et à ouvrir leur portillon.

Après 5 min, on place chaque chèvre à sa place et on s'assure qu'elle mange au moins le concentré.

On les laisse de nouveau 15-30 min et on recommence l'étape avec le concentré.

On laisse les chèvres, jusqu'à 13h30

13h30, on retire les bacs.

Vers 14h (une fois que la mélangeuse a distribué l'alimentation des lots) on place les nouveaux bacs et on observe les chèvres qui arrivent à manger seules.

2 possibilités concernant celles qui ne mangent pas 10 minutes après la distribution :

Soit elles cherchent mais ne trouvent pas leur place ou n'arrivent pas à ouvrir, dans ce cas on aide en les emmenant à leur place et en les aidant à ouvrir le cornadis

Soit elles ne sont pas très motivées à manger (elles ne cherchent pas leur place) dans ce cas on verra au retour de traite si elles ont mangé ou si elles cherchent à manger

Si au retour de la traite certaines n'ont rien mangé, on les emmener une fois à leur portillon pour qu'elles mangent.

Fin de la première journée d'adaptation

Jour 2

Le lendemain, on s'assure que toutes les chèvres ont mangé durant la soirée/nuit.

Lorsqu'elles partent à la traite, on rajoute de l'aliment dans les bacs.

Elles ne rentrent pas au fur et à mesure qu'elles descendent du roto de traite mais sont parquées et rentrées toutes ensemble.

On observe le temps que toutes les chèvres trouvent leur place et arrivent à manger.

Dans le cas où une chèvre ne trouve pas sa place et/ou n'arrive pas à ouvrir son cornadis on peut aller l'aider après l'avoir laissé essayer seule au minimum 15 min.

On retire les bacs à 13h30.

Puis alimentation au retour de traite vers 15h45. On fait une dernière vérification que toutes les chèvres arrivent à trouver leur place, ouvrir leur cornadis et avoir accès à l'aliment.

Utilisation en routine du dispositif

Ci-dessous un chronogramme d'une journée récapitulant les différentes étapes d'utilisation du dispositif de suivi d'ingestion.

7h :

- Bloquer les portillons via la fonction du logiciel Ilab.
- Fenêtre logiciel Ilab → STOPPER→BLOQUER→CYCLE
- Envoyer les chèvres à la traite.
- Nettoyer les caillebotis.
- Rajouter les 1/3 de ration.
- Dès que toutes les chèvres sont parties à la traite, débloquent les portillons.
- Fenêtre logiciel Ilab → STOPPER→DEBLOQUER→CYCLE
- S'assurer que toutes les cartes soient lues en « passage ».
- Dans le cas où il y a plus de 2 lots de chèvres, cela peut nécessiter que le premier lot parti à la traite revienne dans le dispositif alors que les portillons sont toujours verrouillés. Ce qui est important c'est que les chèvres n'aient pas accès à l'aliment avant la traite pour les cas où l'on s'intéresse aux cinétiques d'ingestions.

13h30 :

- Bloquer les portillons via la fonction du logiciel Ilab.
- Fenêtre logiciel Ilab →
- Regarder les quantités de refus sur le logiciel Baléa.
- Il faut que les refus soient d'environ 10% du distribué. Au besoin, ajuster les quantités de distribué.
- Dans le cas où des chevrettes sont dans le dispositif, il faut qu'il reste 500g et 10% de refus dans le bac car certaines sont trop petites pour atteindre le fond avant du bac.
- Jeter les refus et nettoyer à l'aide d'une brosse le fond des bacs.
- Mettre la ration dans les bacs.

15hxx, lorsque les chèvres sont à la traite :

- Replacer les bacs sur les balances et débloquent les portillons.
- Nettoyer les caillebotis.

Contrôle divers

Si une chèvre à un refus anormalement important, vérifier que l'électroaimant n'est pas coincé. Pour cela, appuyer sur la touche on/off pour déverrouiller l'électroaimant et vérifier que le cornadis bascule. Dans le cas contraire, il faut régler l'électroaimant en hauteur et inclinaison à l'aide des boulons de fixation de celui-ci.

Vérifier lorsque l'on déverrouille les portillons que toutes les cartes sont en « passage ».

Une fois par semaine vérifier la dérive des balances et de la tare des bacs.

Vérifier visuellement lorsque l'on passe dans le couloir d'alimentation des portillons qu'un cornadis n'est pas bloqué en position ouverte.

Hygiène et sécurité

L'utilisation du dispositif peut entraîner un risque physique lié à la manipulation répétitive des bacs contenant l'aliment.

	Rédacteur	Vérificateur	Approbateurs
Noms, visas	Ophélie Dhumez	Marjorie Cellier	Nicolas Friggens (DU)

Titre : Caractérisation phénotypique du comportement alimentaire chez la chèvre laitière

Mots clés : caprin, comportement alimentaire, phénotypage, adaptation, variabilité individuelle, préférences alimentaires

Résumé : Les systèmes agricoles évoluent rapidement et sont soumis à des pressions sociétales et économiques croissantes. Un élément clé de leur adaptation consiste à trouver une combinaison optimale entre les capacités des animaux à s'adapter à des environnements changeants, le maintien des performances de production et un pilotage par l'éleveur qui valoriserait au mieux la variabilité individuelle. Le développement de l'élevage de précision, avec la capacité croissante d'enregistrement automatique des paramètres de comportement et de production, permet d'obtenir des informations précises sur le terrain en temps réel. Il est donc impératif que la pertinence biologique des variables mesurées soit connue. Dans ce contexte, le comportement alimentaire, qui constitue une part importante de la description de tout animal de production, est une variable d'intérêt.

Cependant, en raison du manque d'études sur ce sujet, nous en savons peu sur le comportement alimentaire d'un individu et en particulier d'un ruminant, et sur ses facteurs de variation.

Ce travail de thèse, réalisé chez la chèvre a montré que 1) les chèvres présentent des préférences en termes de position d'alimentation et de types d'aliments offerts, 2) une variabilité inter-individuelle importante du comportement alimentaire existe chez des chèvres hébergées en groupes, tandis que le profil de comportement alimentaire individuel est relativement stable entre les stades physiologiques, 3) lorsque les chèvres sont soumises à un challenge alimentaire tel qu'une modification de la fréquence de distribution de la ration, elles adaptent leur comportement alimentaire à ces modifications, mais conservent un profil alimentaire stable.

Title : Phenotypic characterisation of feeding behaviour in dairy goats

Keywords : goat, feeding behaviour, phenotyping, adaptation, individual variability, feed preferences

Abstract: Agricultural systems are changing rapidly and are subject to increasing societal and economic pressures. A key element in their adaptation is to find an optimal combination between the ability of animals to adapt to changing environments, the maintenance of production performance and husbandry methods that would best support individual variability. The development of precision livestock farming, with the increasing ability to automatically record behavioural and production parameters, makes it possible to obtain accurate information on-farm in real time. It is therefore crucial that the biological relevance of the variables measured be known.

However, due to the lack of studies on this subject, we know little about feeding behaviour of individual ruminants, and in particular goats, and what factors contribute to the individual variation.

Using goats, work presented in thesis showed that 1) goats have preferences in terms of feeding posture and types of feed offered, 2) important inter-individual variability of feeding behaviour exists among goats housed in groups, while the individual feeding behaviour pattern is relatively stable over time, 3) when goats are subjected to feeding challenges such as changes in the frequency of feed delivery, they adapt their feeding behaviour to these changes, but keep a stable pattern of feeding behaviour.