



HAL
open science

Exploration de l'ingestion d'aliment et d'eau chez des chèvres sélectionnées sur la longévité

Emilie Cobo, Jean-Louis Weisbecker, Thierry Fassier, Karine Biard, Rachel Rupp

► **To cite this version:**

Emilie Cobo, Jean-Louis Weisbecker, Thierry Fassier, Karine Biard, Rachel Rupp. Exploration de l'ingestion d'aliment et d'eau chez des chèvres sélectionnées sur la longévité. 3R, Idèle et INRAE, Dec 2024, Paris, France. hal-04832714

HAL Id: hal-04832714

<https://hal.inrae.fr/hal-04832714v1>

Submitted on 12 Dec 2024

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.

Exploration de l'ingestion d'aliment et d'eau chez des chèvres sélectionnées sur la longévité

COBO E. (1), WEISBECKER J.L. (1), FASSIER T. (2), BIARD K. (1), RUPP R. (1)

(1) GenPhySE, Université de Toulouse, INRAE, Castanet Tolosane, France

(2) Domaine de Bourges, INRAE, Osmoy, France

RESUME – Longtemps définis pour accroître la productivité et la qualité des produits dans des systèmes de production maîtrisés et optimisés, les objectifs de sélection évoluent, depuis quelques années, en intégrant des caractères de robustesse et de résilience. Toutefois, les compromis (ou synergies) entre résilience et efficacité à l'échelle de l'animal restent très peu documentés. L'objectif de notre étude était de décrire les interactions entre l'ingestion des ressources alimentaires ou d'eau, et la longévité. Ainsi, 41 chèvres de race Alpine, sélectionnées sur la longévité fonctionnelle (lignées LGV+ et LGV-), ont été conduites en deux lots équipés de Distributeurs Automatiques de Concentré (DAC), de Fourrage (DAF) et d'Eau (DH2O). Leur ingestion et leur comportement alimentaire ont été mesurés sur deux périodes au cours de la lactation. Pour chaque aliment, cinq variables journalières ont été calculées : le nombre moyen de visites par jour, la consommation moyenne à la visite, la consommation totale journalière, la durée totale des visites par jour et la vitesse d'ingestion moyenne journalière. Au cours de cette étude, nous n'avons pas mis en évidence de compromis (ou synergies) majeure entre la sélection pour une meilleure longévité et l'ingestion d'aliments ou le comportement alimentaire. L'effet de la lignée était non significatif sur la majorité des variables, à l'exception d'un lien ténu avec le nombre moyen de visites par jour et la consommation moyenne à la visite au DAC. Les consommations journalières de fourrage et d'eau sont significativement corrélées ($r = 0,47$; $P = 0,0018$). Cette consommation journalière d'eau est également étroitement liée au THI ($r = 0,77$; $P < 0,0001$), notamment en milieu de lactation au mois de mai lorsque l'augmentation des températures a été maximale et que la production laitière était de 3,20 L par jour. Ces données d'ingestion jusqu'ici peu voire pas accessibles, dans le respect du bien-être animal, sont des données clés pour différentes études en termes d'efficacité alimentaire, de comportement social et de résilience.

Investigating of feed and water intake in goats selected for longevity

COBO E. (1), WEISBECKER J.L. (1), FASSIER T. (2), BIARD K. (1), RUPP R. (1)

(1) GenPhySE, Université de Toulouse, INRAE, Castanet Tolosane, France

(2) Domaine de Bourges, INRAE, Osmoy, France

SUMMARY – For a long time defined as increasing productivity and product quality in controlled and optimised production systems, breeding objectives have been evolving to include robustness and resilience traits in recent years. However, the trade-offs (or synergies) between resilience and efficiency at the animal level remain largely undocumented. The aim of our study was to describe the interactions between feed and water intake and longevity. Forty-one Alpine goats, selected for functional longevity (LGV+ and LGV- lines), were kept in two batches equipped with automatic concentrate, forage and water feeders (DAC, DAF and DH2O, respectively). Feed intake and feeding behavior were measured over two periods during lactation. For each feed, five daily variables were calculated: average daily number of visits, average intake per visit, average daily intake, total daily duration of visits and average daily intake rate. In this study, we found no major trade-offs (or synergies) between selection for longevity and feed intake or feeding behavior. The effect of genetic line was insignificant on most variables, with the exception of a tenuous link with the average daily number of visits per day and the average intake per visit at the DAC. Daily forage and water consumption were significantly correlated ($r = 0.47$, $P = 0.0018$). Daily water consumption was also closely correlated with THI ($r = 0.77$, $P < 0.0001$), particularly in mid-lactation in May when the temperature rise was at its peak and milk production was 3.20 L per day. In terms of animal welfare, this intake data, which has hitherto been difficult or impossible to access, is key data for various studies into feed efficiency, social behavior and resilience.

INTRODUCTION

Dans un contexte de perturbations environnementales croissantes, la sélection pour des animaux d'élevage plus résilients à ces perturbations et qui maintiennent leur production devient un enjeu majeur de durabilité. Toutefois, les compromis entre résilience et efficacité à l'échelle de l'animal restent très peu documentés (Mucha et al., 2022). Notre étude était basée sur deux lignées divergentes de chèvres pour la longévité fonctionnelle (Ithurbide et al., 2022). L'hypothèse est que ces lignées ont montré des durées de vie significativement différentes en raison d'une meilleure résilience cumulée à diverses perturbations au cours de la vie. L'objectif était ainsi de décrire l'ingestion d'aliment dans ce modèle animal pour aborder l'étude du lien entre résilience et efficacité.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Animaux, distributeurs d'aliment et conduite

Quarante et une chèvres primipares de race Alpine sélectionnées de façon divergente sur la longévité fonctionnelle (LGV+ et LGV-) ont été conduites dans la halle de phénotypage de l'UE P3R (Pôle de Phénotypage des Petits Ruminants) en 2023 (Tableau 1).

Tableau 1. Caractéristiques des deux lignées divergentes LGV+ et LGV- en début d'étude (milieu de lactation)

	LGV+	LGV-
Effectif	17	24
Age à la mise-bas en j	384 ± 7	377 ± 18
Stade de lactation en j	102 ± 7	103 ± 7
Poids animal en kg	46,6 ± 4,1	44,4 ± 3,7

Deux lots ont été constitués en fonction du poids des animaux : un lot dit « léger » comptant 8 chèvres LGV+ et 12 LGV- avec un poids moyen à la mise en lot de $47,7 \pm 5,4$ kg et un lot dit « lourd » comprenant 9 chèvres LGV+ et 12 LGV- avec un poids moyen à la mise en lot de $53,4 \pm 7,2$ kg. Chaque lot disposait d'un DAC (Distributeur Automatique de Concentré), de trois DAF (Distributeur Automatique de Fourrage) et d'un DH2O (Distributeur Automatique d'Eau) décrits par Weisbecker et al. (2020). Après une période d'habituation aux distributeurs de 18 jours avant la mise-bas, les mesures individuelles d'ingestion ont été enregistrées en milieu de lactation pendant 22 jours en mai (CA_ML) et en fin de lactation pendant 18 jours en octobre (CA_FL). Pendant ces deux périodes de contrôle, le concentré était accessible aux DAC de façon rationnée soit 100 g de concentré au maximum par visite, avec un total journalier maximum de 900 g de concentré par jour et par chèvre. L'eau était distribuée au DH2O *ad libitum*, et la quantité d'eau bue a été enregistrée. Les animaux avaient également accès à du fourrage *ad libitum*. L'ingestion de fourrage n'a été mesurée à l'aide du DAF qu'en CA_FL (choix délibéré d'expérimentation). Le foin était distribué en auge collective sans mesures individuelles durant la période CA_ML.

1.2. Acquisition des données et caractères étudiés

Pour les caractères d'ingestion, à partir des données collectées par les différents capteurs embarqués sur les distributeurs, le logiciel du distributeur calcule des visites avec comme variables la date et l'heure de début et de fin de visite, la durée de la visite et la quantité ingérée. Seules les visites avec un seul animal identifié dans le distributeur et efficaces c'est-à-dire dont la consommation est supérieure à 4 g au DAC, 5 g au DAF et 1 mL au DH2O et dont la durée est supérieure 0 s ont été conservées pour les calculs. Au total, moins de 11 % des visites ont été écartées du jeu de données final. Après ce contrôle qualité des visites, cinq variables journalières ont été calculées pour chaque animal et pour chaque type d'aliment à partir de 3533 visites : le nombre moyen de visites par jour (NbVis_J), la consommation moyenne à la visite (Conso_V), la consommation totale journalière (Conso_J), la durée totale des visites par jour (Durée_J) et la vitesse d'ingestion moyenne journalière (VI_J). Ces variables ont été calculées en CA_ML et CA_FL pour le concentré et l'eau et uniquement en CA_FL pour le fourrage. Le poids vif a été enregistré 1 à 7 fois par animal et par période à la sortie de la salle de traite grâce à un système d'enregistrement du poids en passage dynamique des animaux, et moyenné par période.

Les chèvres étaient traitées deux fois par jour avec une machine à traire DeLaval (DeLaval France) dans une salle de traite rotative, permettant d'obtenir les productions laitières à chaque traite. La variable journalière de production de lait était ensuite calculée en sommant les productions du matin et du soir.

Dans la halle de phénotypage, des relevés de température et d'humidité ont été réalisés par des capteurs de type LoRa® toutes les 10 minutes de façon à estimer un indicateur de confort thermique moyen journalier (THI). L'index THI a été calculé selon la formule de Kendall & Webster (2009) : $THI = (1,8T + 32) - ((0,55 - 0,0055H) \times (1,8T - 26))$, avec $T =$ température ambiante en degrés Celsius et $H =$ pourcentage d'humidité relative.

1.3. Analyses statistiques

La normalité de la distribution des caractères a été vérifiée de manière graphique et les données extrêmes au-delà de trois écart-types de la moyenne ont été éliminées des analyses, soit 4,4 % des données. Ces données ont ensuite été analysées à l'aide du logiciel SAS : statistiques descriptives, analyses de

variance et corrélations. Les corrélations ont été estimées intra variables journalières entre le milieu et la fin de lactation, et entre variables.

En premier lieu, un modèle linéaire mixte a été appliqué aux cinq variables : pour le concentré et l'eau à l'échelle des deux périodes de contrôle alimentaire et pour le fourrage en CA_FL uniquement. Le modèle incluait l'effet fixe de la lignée (2 niveaux), ainsi que d'autres facteurs explicatifs : lot animal (2 niveaux), période (2 périodes sauf pour le fourrage mesuré uniquement en CA_FL), classe d'âge à la mise-bas (3 niveaux), semaine de mise-bas (2 niveaux), poids de l'animal (covariable) et l'effet aléatoire de l'animal (répétitions journalières).

Pour la production laitière, le modèle utilisé impliquait les mêmes effets fixes ainsi qu'un effet jour intra période pour tenir compte de l'évolution moyenne de la production au cours de la lactation. Enfin, en CA_FL, nous avons testé simultanément l'ensemble des variables d'ingestion (covariables) pour identifier celles qui influençaient sur la production de lait.

2. RESULTATS

2.1. Ingestion des trois aliments et comportement alimentaire des chèvres en milieu et fin de lactation

Au cours d'une journée, les chèvres visitent en moyenne 125 fois le DAF soit 12,5 fois plus que le DAC et 25 fois plus que le DH2O (Tableau 2). En plus d'y entrer souvent, elles passent près de 3 h par jour au DAF ce qui se traduit par des vitesses d'ingestion relativement faibles. Par ailleurs, elles consomment en moyenne 1,64 kg de fourrage en CA_FL et entre 5,0 L et 6,8 L d'eau par jour, en CA_FL et CA_ML respectivement. Une chèvre consomme 1,8 L d'eau de plus en milieu de lactation (en mai) qu'en fin de lactation (en octobre) avec une durée journalière des visites plus longue (+ 90 s).

Tableau 2. Productions laitières et caractéristiques de l'ingestion et du comportement alimentaire des 41 chèvres de race Alpine issues des lignées LGV en milieu (CA_ML) et fin (CA_FL) de lactation.

Aliment	Caractère	Unité	CA_ML		CA_FL		r
			Lsmean	SE	Lsmean	SE	
-	Prod_lait	L	3,17 ^a	0,64	1,64 ^b	0,66	0,71
CONCENTRE	NbVis_J		10,1 ^a	0,05	10,2 ^a	0,06	-
	Conso_V	g	87,6 ^a	0,4	87,8 ^a	0,4	-
	Conso_J	g	880,1 ^a	0,6	881,7 ^a	0,7	-
	Durée_J	s/j	504 ^a	11	545 ^b	12	0,23
	VI_J	kg/h	6,46 ^a	0,15	6,41 ^a	0,16	0,37
FOURRAGE	NbVis_J		-	-	125,0	3,9	0,50
	Conso_V	g	-	-	13,6	0,4	0,55
	Conso_J	g	-	-	1644,2	36,7	0,45
	Durée_J	s/j	-	-	9758	417	0,73
	VI_J	kg/h	-	-	0,64	0,02	0,70
EAU	NbVis_J		5,3 ^b	0,2	4,1 ^a	0,2	0,33
	Conso_V	L	1,4 ^a	0,07	1,4 ^a	0,07	0,32
	Conso_J	L	6,8 ^b	0,2	5,0 ^a	0,2	0,27
	Durée_J	s/j	374 ^b	20	284 ^a	20	0,31
	VI_J	L/h	74,10 ^a	2,79	75,84 ^a	2,82	0,34

Les moindres carrés moyens (LSMean) et les erreurs standards (SE) ont été obtenus à partir des modèles décrits en Matériels et Méthodes. Les différentes lettres correspondent à des différences significatives à

5% des LSMean entre les 2 périodes. (-) répétabilité non estimées car la distribution de concentré est rationnée.

La période influence significativement la majorité des variables d'ingestion (Tableau 2), notamment Durée_J au concentré ($P < 0,0001$), NbVis_J, Durée_J et Conso_J ($P < 0,0001$) pour l'abreuvement. Ceci correspond bien à l'évolution du besoin avec la diminution de la production laitière de 1,53 L entre le milieu et la fin de lactation ($P < 0,0001$).

Comme attendu, le poids de l'animal influence également l'ingestion. Notamment au fourrage, les animaux les plus lourds ont des consommations journalières plus élevées ($P = 0,0122$) et visitent plus souvent les DAF ($P = 0,0032$).

Les répétabilités estimées sont supérieures à 0,23 voire supérieures à 0,45 pour tous les caractères au DAF, les caractères les plus répétables ($r \geq 0,70$) étant Durée_J et VI_J (Tableau 2).

Parmi les corrélations calculées entre les trois aliments, seules les consommations journalières de fourrage et d'eau en fin de lactation apparaissent significativement corrélées ($r = 0,47$; $P = 0,0018$).

2.2. Effet de la lignée sur l'ingestion des aliments et de l'eau

Les deux lignées présentent des productions laitières journalières équivalentes toutes périodes cumulées (Tableau 3). Parmi les caractères d'ingestion, seuls le nombre de visite journalier NbVis_J ($P = 0,0259$) et la consommation à la visite ($P = 0,0257$) au DAC diffèrent entre les deux lignées, les chèvres LGV- visitant plus souvent le DAC avec une ingestion à la visite moindre que les chèvres LGV+. Mais ces différences sont minimes. La lignée n'a pas d'effet significatif sur les 13 autres variables étudiées.

Tableau 3. Productions laitières et caractéristiques de l'ingestion et du comportement alimentaire par lignée LGV ($n = 17$ LGV+ et $n = 24$ LGV-) de chèvres en milieu et fin de lactation.

Aliment	Caractère	Unité	LGV+		LGV-	
			Lsmean	SE	Lsmean	SE
-	Prod_lait	L	2,33 ^a	0,95	2,48 ^a	0,79
CONCENTRE	NbVis_J		10,0 ^a	0,05	10,2 ^b	0,04
	Conso_V	g	88,2 ^b	0,3	87,2 ^a	0,3
	Conso_J	g	881,3 ^a	0,8	880,8 ^a	0,7
	Durée_J	s/j	522 ^a	21	523 ^a	17
	VI_J	kg/h	6,40 ^a	0,24	6,46 ^a	0,20
FOURRAGE	NbVis_J		124,6 ^a	7,0	127,0 ^a	5,8
	Conso_V	g	14,1 ^a	0,7	13,4 ^a	0,5
	Conso_J	g	1647,1 ^a	69,9	1644,7 ^a	57,6
	Durée_J	s/j	9760 ^a	818	9698 ^a	675
	VI_J	kg/h	0,64 ^a	0,04	0,65 ^a	0,04
EAU	NbVis_J		4,5 ^a	0,3	5,0 ^a	0,3
	Conso_V	L	1,5 ^a	0,1	1,3 ^a	0,1
	Conso_J	L	6,3 ^a	0,4	5,8 ^a	0,3
	Durée_J	s/j	357 ^a	34	316 ^a	27
	VI_J	L/h	71,11 ^a	5,01	77,81 ^a	4,16

Les moindres carrés moyens (LSMean) et les erreurs standards (SE) ont été obtenus à partir des modèles linéaires mixte décrit en Matériels et Méthodes. Les différentes lettres correspondent à des différences significatives à 5% des LSMean entre les 2 lignées. (-) répétabilités non estimées car la distribution de concentré est rationnée.

2.4. Lien entre la consommation journalière d'eau et un indicateur de confort thermique en milieu et fin de lactation

La corrélation estimée entre la consommation journalière d'eau et le THI moyen journalier, qui est un critère intégrant à la fois la température et l'humidité est égale à 0,77 ($P < 0,0001$) en milieu et fin de lactation (Figure 1). En fin de CA_ML, où le THI a dépassé le seuil de stress léger et modéré (> 70) à cause de températures élevées, les consommations journalières d'eau ont augmenté et la corrélation a atteint 0,86 ($P < 0,0001$). Cependant, une confusion entre l'effet de la température et l'effet de la baisse de production laitière pouvait exister. Nous avons donc modélisé la consommation journalière d'eau (Conso_J) en fonction de la période, du THI intra période et de la production laitière journalière. Tous les effets restaient significatifs : THI intra période ($P < 0,001$), production laitière ($P = 0,021$) et période ($P < 0,001$), confirmant un effet fort de la température sur l'ingestion d'eau, indépendamment du niveau de besoin lié à la production laitière. Il n'y avait pas d'interaction entre le THI et la lignée, suggérant que l'impact de la température sur l'augmentation la consommation d'eau n'est pas dépendante de la sélection sur la longévité.

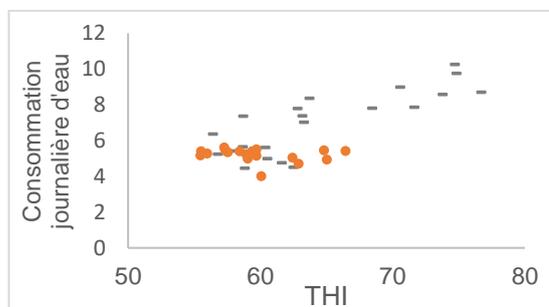


Figure 1. Lien entre la consommation journalière d'eau (en L) et le THI en milieu (trait gris) et fin de lactation (point orange).

3. DISCUSSION

3.1. Retour d'expérience de l'utilisation des distributeurs par les chèvres

Ces trois types de distributeur d'aliment (DAC, DAF, DH2O), développés pour les petits ruminants par INRAE (CATI SICPA ; commercialisation par la société ARIAS, Toulouse), ont été utilisés pour la première fois avec des chèvres. Après une étape d'adaptation aux distributeurs avant la mise-bas fin 2022, l'ingestion et le comportement alimentaire des chèvres ont pu être décrits finement en milieu et fin de lactation. La période d'adaptation au DAC et au DAF a permis de collecter rapidement des données fiables. La collecte des données au DH2O a été plus complexe pour des raisons d'apprentissage d'utilisation du DH2O et à cause d'incidents techniques. Néanmoins, des données fiables ont pu être collectées en milieu et en fin de lactation soulignant l'importance de ces périodes d'habituations pour les animaux suivis sur de tels dispositifs.

3.2. Premiers phénotypes individuels de l'ingestion de concentré, de fourrage et d'eau de chèvres en lactation élevées en lot

Au DAC, les chèvres ont consommé tout le concentré autorisé au cours des deux périodes de contrôle alimentaire soit 900 g/j avec des durées journalières moyennes d'occupation du distributeur et des vitesses d'ingestion journalières moyennes stables. Ces résultats étaient attendus du fait du fonctionnement en mode rationné du DAC.

Au DAF, les chèvres visitent de très nombreuses fois le distributeur au cours d'une journée. Ce nombre élevé de visites

n'est pas commun aux autres ruminants (Marie-Etancelin et al., 2019), ce qui interroge sur la notion de repas. Comme pour les ovins (Weisbecker et al., 2020), le temps passé au DAF est important, près de 3 h. C'est la raison pour laquelle 3 DAF sont disponibles pour un lot de 20 chèvres (vs. 1 DAC et 1 DH2O). L'utilisation du DH2O a permis, pour la première fois à notre connaissance, de mesurer précisément, à l'échelle individuelle, la quantité d'eau bue par des chèvres élevées en lot. Si la moyenne se situe autour de 6 L d'eau par jour, les variabilités inter-période et inter-individuelle sont fortement marquées, soit entre $6,9 \pm 3,2$ L par jour en CA_ML et $5,2 \pm 2,4$ L par jour en CA_FL.

Plusieurs de ces variables individuelles d'ingestion et de comportement alimentaire ont montré des répétabilités élevées en faveur d'un déterminisme individuel important. C'est notamment le cas pour l'ingestion de fourrage : quantité ($r = 0,45$ à la journée et $0,55$ à la visite), durée ($r = 0,73$) et vitesse d'ingestion ($r = 0,70$) et dans une moindre mesure, pour l'eau ($r = 0,27$ pour Conso_J et $0,34$ pour VI_J). De fortes répétabilités des comportements d'ingestion ($0,40 - 0,54$) avaient déjà été rapportées pour des rations complètes (Giger Reverdin et al., 2020)

Ces données originales constituent une première description de l'ingestion et du comportement alimentaire de chèvres élevées en lot, dans le respect du bien-être animal, ouvrant la perspective d'études génétiques.

3.3. Lien entre ingestion et sélection sur la longévité

Dans cette étude, nous avons utilisé des chèvres issues de deux lignées divergentes sélectionnées sur la longévité fonctionnelle. Dans une étude précédente, Ithurbide et al. (2022) ont montré que la lignée LGV+ présente une meilleure survie, ce qui suggère une différence cumulative de résilience à diverses perturbations au cours de la vie. Dans notre étude, nous avons constaté des différences entre les lignées en termes de nombre moyen de visites par jour aux distributeurs et de consommation moyenne journalière à la visite en milieu et fin de lactation et ce uniquement pour le concentré. Les différences relevées sont minimes et ne se retrouvent pas pour les aliments distribués *ad libitum* (fourrage et eau). Ces résultats restent à confirmer sur des effectifs plus importants et des périodes de contrôle alimentaire plus longues. Néanmoins, il semblerait que la sélection sur la longévité puisse se faire sans conséquence négative sur l'ingestion ni sur le comportement alimentaire. La production laitière étant similaire entre les lignées, cela suggère aussi une indépendance génétique entre longévité fonctionnelle et l'efficacité alimentaire, en accord avec Mucha et al. (2022)

mais cela doit être confirmé par des analyses complémentaires.

Nous avons, par ailleurs, évalué la réponse des lignées à un épisode de températures (THI) élevées s'étant produit naturellement en milieu de lactation, au mois de mai 2023. La hausse de température s'est traduite par une augmentation de la consommation d'eau chez les chèvres, indépendamment du niveau de production laitière. Ce résultat indique que la consommation d'eau, quand elle est mesurée quotidiennement, peut témoigner de perturbations environnementales tel que le stress thermique. Cette réaction a toutefois été indépendante de la sélection sur la longévité. Elle traduit d'autres mécanismes de résilience que ceux qui sont sous-jacent à la longévité fonctionnelle.

CONCLUSION

Cette étude rapporte pour la première fois, l'acquisition et l'analyse de données individuelles d'ingestion d'eau, de concentré et de fourrage pour des chèvres laitières élevées en lot. Des points de vigilance (habituation des chèvres et de fonctionnement des outils) ont été soulignés pour les futures expérimentations. Les résultats obtenus ont permis de mettre en lumière une répétabilité élevée de ces caractères, suggérant un déterminisme individuel important.

Au cours de cette étude, nous n'avons pas mis en évidence de compromis (ou synergies) majeur entre la sélection pour une meilleure longévité et l'ingestion d'aliments ou le comportement alimentaire. En particulier l'augmentation de la consommation d'eau sous régime de forte chaleur n'est pas modifiée chez les chèvres sélectionnées pour une meilleure longévité. Par contre, les données individuelles d'ingestion acquises grâce aux outils déployés à l'UE P3R de Bourges, pourront potentiellement produire de nouveaux phénotypes de résilience, notamment face à des stress thermiques.

Les auteurs remercient le personnel de l'UE P3R (<https://doi.org/10.15454/1.5483259352597417E12>), Flavie Tortereau et Christel Marie-Etancelin pour la relecture. Ce projet a reçu des financements du programme européen H2020 SMARTER (#772787) et de APIS-GENE (Résilait).

Giger-Reverdin S. et al., 2020. *Animal*14(5):1083-1092.

Ithurbide M. et al., 2022. *J. Dairy Sci* 105(5): 4289-4300.

Ithurbide M. et al., 2023. *J. Dairy Sci* 106(11): 8072-8086.

Kendall P.E. & Webster J.R., 2009. *Livest Sci* 125:155-160.

Marie-Etancelin C. et al., 2019. *J. Anim. Breed Genet* 136: 174-182.

Mucha S. et al., 2022. *Animal* 16(3):100456.

Weisbecker J.L. et al., 2020. *Renc. Rech. Ruminants* 25: 342.