

Estimation de l'efficacité alimentaire des chèvres laitières, en fermes commerciales

CHASSIER M. (1), MOSNIER F. (1), RUPP R. (2), BLUET B. (3), BAILLY-SALINS A. (4), PALHIÈRE I. (2)

(1) Idele – Chemin de Borde Rouge, 31326 Castanet-Tolosan Cedex

(2) GenPhySE - Université de Toulouse, INRAE, INPT, ENVT, 31326 Castanet-Tolosan

(3) Idele - Chambre Régionale D'agriculture de Poitou-Charente CS 45002, 86550 Mignaloux-Beauvoir

(4) Capgènes - Agropôle 2135, Route de Chauvigny, 86550 Mignaloux-Beauvoir

RESUME

L'importance économique de l'amélioration génétique de l'efficacité alimentaire est reconnue en production laitière. L'efficacité alimentaire est un trait génétiquement complexe qui peut être décrit comme le rapport entre production (le rendement laitier, par exemple) et les ressources destinées à cette production (alimentation). Des travaux antérieurs ont montré que l'efficacité alimentaire était héréditaire chez de nombreuses espèces. Cette étude vise à étudier l'héritabilité de l'énergie résiduelle ingérée (REI) chez deux races de chèvres laitières (Alpine et Saanen) élevées en fermes commerciales. Les héritabilités sont modérées pour les deux races ($0,18 \pm 0,08$ en Alpine et $0,20 \pm 0,07$ en Saanen).

Genetics parameters of feed efficiency in dairy goats, under commercial conditions

CHASSIER M. (1), MOSNIER F. (1), RUPP R. (2), BLUET B. (3), BAILLY-SALINS A. (4), PALHIÈRE I. (2)

(1) Idele – Chemin de Borde Rouge, 31326 Castanet-Tolosan Cedex

SUMMARY

The economic importance of genetically improving feed efficiency has been recognized in dairy production. Feed efficiency is a genetically complex trait that can be described as units of product output (e.g., milk yield) per unit of feed input. Previous work showed that feed efficiency is heritable in many species. This study aimed to investigate the heritability for Residual Energy Intake in two breeds of dairy goats (Alpine and Saanen) under commercial conditions. Heritabilities were moderate for both breeds (0.18 ± 0.08 in Alpine and 0.20 ± 0.07 in Saanen).

INTRODUCTION

En production laitière, les coûts d'alimentation constituent l'une des plus grandes dépenses de l'éleveur. D'après les résultats INOSYS caprins 2020, ceux-ci représentent en moyenne 60% des charges opérationnelles. Ainsi, pour réduire les coûts de production et avoir un impact positif sur le développement durable, les éleveurs ont un grand intérêt à améliorer la balance entre les intrants (aliments ingérés) et les sortants (production laitière) et donc l'efficacité alimentaire. Cette dernière a déjà été introduite dans les programmes de sélection porcins et de volailles et commence à être introduite chez les bovins (Brito *et al.*, 2021). A la différence des monogastriques et des bovins, l'efficacité alimentaire est peu documentée chez les petits ruminants (ovins et caprins). Quelques résultats d'ingestion individuelle sont disponibles dans les élevages expérimentaux INRAE mais cela représente au mieux quelques dizaines d'animaux mesurés. Le projet européen SMARTER (SMAll RuminanTs breeding for Efficiency and Resilience, <https://www.smarterproject.eu/>) a pour but de développer des stratégies innovantes pour améliorer l'efficacité et la résilience des ovins et caprins. Cette étude s'inscrit dans le cadre de ce projet et vise à estimer les paramètres génétiques de l'efficacité alimentaire, mesurée en fermes commerciales, à travers une large diversité de systèmes d'élevage, dans deux races caprines (Alpine et Saanen). La spécificité de l'étude réside dans le fait que les mesures d'ingestion individuelles ne sont pas disponibles en ferme commerciale et qu'il faut donc approcher l'efficacité alimentaire à partir de données d'ingestion mesurées par lot.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1 ANIMAUX ET MESURES EN FERMES

L'étude a été menée dans 14 fermes commerciales et à la ferme Expérimentale INRAE de La Sapinière (Bourges), sur 2 campagnes (2020 et 2021). 1 636 chèvres primipares (663

Alpine et 973 Saanen) ont été phénotypées pour l'efficacité alimentaire. Les quantités d'aliments ingérés ont été mesurées 4 fois au cours de la lactation, à l'échelle du lot : deux fois en début de lactation (entre 0 et 60 jours, et entre 60 et 90 jours de lactation), puis autour de la reproduction (entre 210 et 260 jours) et en fin de lactation (entre 240 et 280 jours). Pour chacun des points de mesure, une moyenne de 3 jours consécutifs d'enregistrements a été prise en compte afin de limiter les perturbations ponctuelles. Un total de 4 827 enregistrements (1 879 en Alpine et 2 948 en Saanen) constitue la base de données. Lors des points de mesure, les quantités distribuées et les refus, de fourrage et de concentré, ont été pesés par des conseillers du Contrôle Laitier. Les quantités de fourrage ont été mesurées en pesant tout le fourrage distribué à l'échelle du lot. Pour le concentré, les quantités ont été mesurées soit en pesant les quantités distribuées à l'échelle du lot, soit à l'échelle individuelle : lorsque l'élevage était équipé d'un distributeur automatique de concentré ou que le concentré était distribué en salle de traite. Compte-tenu des différences de pratiques entre éleveurs, les animaux recevaient une alimentation différente en termes de nature et de quantité d'aliments, notamment la part de concentré et de fourrage (Tableau 1). On compte 282 rations différentes (une ration étant définie par lot*élevage*date) au sein des 15 élevages, avec une proportion de concentré distribuée allant de 0 à 64,4 % (moyenne = 37 %) et une proportion de fourrage allant de 34,8 % à 100 % (moyenne = 60 %). On observe également une diversité de type de concentré et de fourrage utilisé.

A partir de ces informations, l'ingestion journalière individuelle a été estimée par la moyenne de l'ingestion du lot auquel l'animal appartenait, pour les élevages sans distribution individuelle de concentré (83 % du jeu de données). Sinon, l'ingestion journalière individuelle a été estimée par la moyenne de l'ingestion de fourrage du lot plus la consommation alimentaire individuelle de concentré (17 %).

La quantité de matière sèche ingérée (MSI) a ensuite été estimée, pour chaque aliment à chaque point de mesure, à partir des informations apportées par les analyses de fourrage, faites en laboratoire sur un échantillon du fourrage distribué à chaque point de mesure, et les étiquettes de concentré. L'énergie ingérée a été estimée pour chaque aliment de la ration, en multipliant sa MSI et sa concentration énergétique, puis l'énergie ingérée (EI) a été calculée en faisant la somme de toutes les énergies ingérées élémentaires. La qualité

nutritionnelle des aliments a été enregistrée pour chaque fourrage et chaque concentré et la teneur en énergie a été déterminée à partir des tables INRAE (Agabriel, 2010). Les données de production laitière individuelles ont aussi été collectées lors des 4 points de mesure, via le contrôle laitier. Le tour de poitrine utilisé comme proxy du poids des chèvres a été mesuré par Capgènes une fois par animal et par campagne, autour de 150 jours de lactation.

	Proportion (% MSD)	N rations	Minimum	Moyenne	Maximum	Sd ¹
Catégorie d'aliment	Concentré	282	0	36,9	64,4	10,3
	Fourrage	282	34,8	60,0	99,9	11,1
	Déshydratés	282	0	3,1	22,5	5,9
Type d'aliment	Concentré complet	158	0	20,8	38,8	9,5
	Concentré énergétique	269	1,7	15,5	32,3	7,9
	Concentré azoté	224	0,7	13,2	32,4	7,8
	Déshydratés	64	4,2	12,2	22,5	6,4
	Fourrage vert	4	54,0	70,0	76,3	10,7
	Ensilage	172	6,9	30,9	76,8	15,6
	Foin	273	4,6	40,6	99,9	20,6
	Paille	84	0,8	2,8	6,8	1,3

¹Ecart-type ; ²Coefficient de variation

Tableau 1. Descriptif de la proportion moyenne de matière sèche distribuée (MSD) par catégorie d'aliment, pour l'ensemble des 282 rations ; b. par type d'aliment, pour les rations concernées par cet aliment.

1.2 ESTIMATION DU REI

Pour estimer l'efficacité alimentaire, l'énergie résiduelle ingérée (**REI**), a été utilisée. Elle correspond aux résidus du modèle de régression linéaire suivant (1) :

$$EI = \beta_0 + \beta_1 \times PL + \beta_2 \times TB + \beta_3 \times TP + \beta_4 \times TPO + REI \quad (1)$$

Où, EI est l'énergie ingérée (exprimée en Unité Fourragère Lait (UFL), 1 UFL=1.7 Mcal), β_0 est l'EI moyenne observée (en UFL), β_1 est le coefficient de régression de la production laitière (PL), β_2 and β_3 sont les coefficients de régression des taux butyreux et protéiques (TB et TP) and β_4 est le coefficient de régression du tour de poitrine (TPO). L'analyse a été faite intra-race et appliquée sur l'ensemble des données répétées par chèvre. Les REI obtenus ont ensuite été répartis en 3 groupes, indépendamment de la race et de la ration, en utilisant l'écart-type du REI (sd_REI) : inefficace ($REI > 0,5 \times sd_REI$), intermédiaire ($-0,5 \times sd_REI \leq REI \leq 0,5 \times sd_REI$), efficace ($REI < -0,5 \times sd_REI$).

1.3 ESTIMATION DES PARAMETRES GENETIQUES

Les paramètres génétiques du REI et de la production laitière journalière (PL) ont été estimés, à partir du logiciel WOMBAT (Mayer, 2007), pour chaque race séparément, à partir des modèles linéaires animal suivant :

$$Y = Trpx + Camp + Htd + PhSt + a_n + perm_p + e \quad (2)$$

$$Y = Age + Camp + Htd + PhSt + a_n + perm_p + e \quad (3)$$

Où, Y est le vecteur d'observation pour la variable REI (2) ou PL (3), Tpx est l'effet fixe du troupeau, Age est l'effet fixe de l'âge à la mise bas, Camp est l'effet fixe de la campagne de lactation, Htd est l'effet fixe du jour de mesure, PhSt est l'effet fixe du stade physiologique. Les effets aléatoires inclus dans le modèle sont l'effet génétique additif de l'animal (a_n), l'effet de l'environnement permanent ($perm_p$) et la résiduelle (e).

Seuls les animaux avec 2 mesures et plus étaient gardés. Le jeu de données final comprenait 1 331 et 2 414 mesures pour 455 et 785 chèvres Alpine et Saanen, respectivement. Ces chèvres sont issues de 74 et 94 pères et 355 et 576 mères, et le fichier pedigree contenait 7 484 et 8 652 animaux pour les races Alpine et Saanen, respectivement. L'héritabilité (h^2) et la répétabilité (R) ont été estimées à partir des variances estimées selon les formules suivantes : $h^2 = V_A / (V_A + V_E + V_R)$, et $R = V_E / (V_A + V_E + V_R)$, avec V_A variance génétique additive, V_E variance environnementale permanente et V_R variance résiduelle.

2. RESULTATS

Une description générale des données est présentée dans le Tableau 2. La MSI est en moyenne de 2,7 kg par jour et par chèvre, avec une erreur standard de 310 g en race Alpine et de 280 g en race Saanen. L'énergie ingérée (EI) est en moyenne de 2,5 UFL par jour et par chèvre dans les deux races, avec une variabilité modérée (CV de 13 % et de 11 %). L'énergie résiduelle ingérée (REI) moyenne est de 0 UFL par définition. La production laitière quotidienne est de 3,40 kg en moyenne en race Alpine et de 3,04 kg en race Saanen, avec un écart-type de 940 g et 770 g, respectivement. Le tour de poitrine moyen (TPO) est de 88 cm dans les deux races avec une faible variabilité (CV de 5 % dans les deux races).

La quantité de matière sèche ingérée (MSI) est plus importante dans le groupe de chèvres inefficaces que dans le groupe de chèvres efficaces, avec une différence de 0,49 kg de MSI par jour et par chèvre en race Alpine et de 0,57 kg en race Saanen (Tableau 3). Cette différence s'explique à la fois par une plus faible quantité de MSI provenant des concentrés (CMSI) et par une plus faible quantité de MSI provenant des fourrages (FMSI) dans le groupe de chèvres inefficaces. La quantité de MSI par kg de lait produit (MSI/PL) est plus faible pour le

groupe de chèvres efficaces, tandis que la production laitière (PL) est la même dans les trois groupes.

Les composantes de la variance, héritabilités et répétibilités des caractères étudiés sont présentés dans le Tableau 4. Les

héritabilités de la production laitière journalière sont de 0,19 et de 0,20 en race Alpine et Saanen, respectivement. Les héritabilités estimées pour le REI, dans les 2 races, sont modérées (0,18 and 0,20), avec une plus grande répétibilité pour la race Alpine (0,31) que pour la race Saanen (0,12).

Race	Caractère	N	Minimum	Moyenne	Maximum	Sd ¹	CV ²
Alpine	REI (UFL)	1 879	-1,02	0,00	0,71	0,27	11%
	MSI (kg)	1 879	2,01	2,68	3,63	0,31	12%
	EI (UFL)	1 879	1,66	2,48	3,41	0,31	13%
	PL (kg)	1 879	0,90	3,40	6,50	0,94	28%
	TPO (cm)	1 879	76,00	88,24	103,00	4,29	5%
Saanen	REI (UFL)	2 948	-0,87	0,00	1,01	0,28	11%
	MSI (kg)	2 948	2,02	2,82	3,78	0,28	10%
	EI (UFL)	2 948	1,78	2,62	3,85	0,29	11%
	PL (kg)	2 948	0,30	3,04	6,60	0,77	25%
	TPO (cm)	2 948	76,00	88,51	103,00	4,64	5%

¹Ecart-type; ²Coefficient de variation

Tableau 2. Statistiques descriptives du REI (énergie résiduelle ingérée), de la MSI (Matière sèche ingérée), de l'EI (énergie ingérée), de la PL (production laitière) et du TPO (tour de poitrine) par race.

Caractère	Moyenne (sd)					
	Inefficace		Intermédiaire		Efficace	
	Alpine (n=526)	Saanen (n=724)	Alpine (n=879)	Saanen (n=1 317)	Alpine (n=474)	Saanen (n=907)
MSI (kg)	2,86 (0,26)	3,11 (0,15)	2,73 (0,26)	2,86 (0,16)	2,37 (0,20)	2,54 (0,21)
EI (UFL)	2,71 (0,15)	2,98 (0,16)	2,55 (0,15)	2,64 (0,11)	2,08 (0,26)	2,32 (0,21)
MSI/PL	0,95 (0,25)	1,13 (0,44)	0,79 (0,23)	0,99 (0,25)	0,83 (0,30)	0,89 (0,37)
CMSI (kg)	1,29 (0,17)	1,02 (0,22)	1,24 (0,17)	0,95 (0,09)	1,03 (0,17)	0,79 (0,19)
FMSI (kg)	1,57 (0,38)	2,08 (0,19)	1,47 (0,36)	1,89 (0,14)	1,33 (0,20)	1,74 (0,21)

Tableau 3. Statistiques descriptives de la MSI (matière sèche ingérée), de l'EI (énergie ingérée), du rapport MSI/PL, du CMSI (matière sèche ingérée du concentré) et du FMSI (matière sèche ingérée du fourrage) par groupe de REI et par race..

Race	Caractère	V _A	V _E	V _R	h ²	R
Alpine	REI	0,004 (0,001)	0,006 (0,002)	0,009 (0,001)	0,18 (0,08)	0,31 (0,08)
	PL	0,096 (0,049)	0,186 (0,044)	0,227 (0,011)	0,19 (0,09)	0,37 (0,09)
Saanen	REI	0,003 (0,001)	0,002 (0,001)	0,011 (0,0001)	0,20 (0,07)	0,13 (0,06)
	PL	0,097 (0,036)	0,185 (0,031)	0,202 (0,007)	0,20 (0,07)	0,38 (0,07)

Tableau 4. Composantes de la variance : variance génétique additive (V_A), variance environnementale permanente (V_E) et variance résiduelle (V_R), héritabilité (h²) et répétibilité (R) pour l'énergie résiduelle ingérée (REI) et la production laitière (PL), écart-types entre parenthèses, par race

3. DISCUSSION

L'héritabilité de la production laitière journalière est autour de 0,20 dans les races Alpine et Saanen. Arnal *et al.* (2019) ont trouvé des héritabilités plus élevées : 0,27 en Alpine et 0,28 en Saanen. Les héritabilités estimées pour le REI sont légèrement plus faibles que les héritabilités de l'efficacité alimentaire reportées par Desire *et al.* (2017) dans une population croisée avec les races Saanen, Alpine et Toggenburg (autour de 0,25). Dans le projet SMARTER, l'efficacité alimentaire a également été étudiée chez les brebis laitières, dans des fermes commerciales. Machefert *et al.* (2022) ont trouvé une héritabilité plus faible (0,12), en brebis Lacaune, pour l'efficacité alimentaire calculée à partir d'un ratio. Selon Berry and Crowley (2013), les héritabilités varient d'une étude à l'autre en fonction du modèle utilisé pour estimer l'efficacité alimentaire (ratio ou

régression/résiduelle) et du type d'animal étudié (animal en croissance ou adulte). Dans cette étude nous approchons l'efficacité alimentaire individuelle à partir de données mesurées à l'échelle du lot pour les fourrages et pour une partie des concentrés, ce qui est très différent des études utilisant ce modèle dans la bibliographie. Notre hypothèse que chaque chèvre a une ingestion identique intra-lot est forte et conduit probablement à des erreurs de mesure. Le critère REI estimé ici reflète sûrement davantage une différence d'énergie ingérée entre chèvres plutôt que d'efficacité alimentaire. Pour améliorer cela, nous ne pouvons pas compter sur des données d'ingestion individuelles, non disponibles en fermes commerciales. Il conviendra plutôt d'adapter le modèle d'estimation de l'efficacité alimentaire en considérant notre mesure au lot comme un phénotype individuel, tel que proposé par

différents auteurs (Olson *et al.*, 2006, Gao *et al.*, 2021, Ma *et al.*, 2021).

CONCLUSION

L'efficacité alimentaire est un phénotype difficile à mesurer en ferme commerciale, du fait de la diversité des systèmes alimentaires et de la difficulté à disposer de données d'ingéré à l'échelle individuelle et précises. Nos résultats montrent que l'on peut approcher l'efficacité alimentaire hors ferme expérimentale et qu'une classification sur ce critère peut être faite pour discriminer les chèvres : efficaces vs inefficaces. Cependant cette première analyse nécessite d'être améliorée pour prendre en compte la spécificité de nos données, qui sont enregistrées à l'échelle du lot. Des analyses complémentaires doivent être réalisées afin de valider ces premiers résultats, comme une approche au lot et non à la chèvre (cf Gao *et al.*, 2021) ou fondée sur un sous-jeu de données contenant uniquement des quantités de concentré individuelles. De plus, une estimation des corrélations génétiques permettra d'évaluer si l'objectif de sélection actuel améliore ou dégrade l'efficacité alimentaire des chèvres.

Ce projet a été financé par le programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union européenne dans le cadre de la convention de subvention n° 772787 (SMARTER). Les auteurs aimeraient remercier les conseillers du Contrôle Laitier, FCEL, pour la collecte des données et les éleveurs pour leur implication dans le projet SMARTER.

Agabriel J., 2010. Alimentation des bovins, ovins et caprins - Besoins des animaux – Valeurs des aliments - Tables intra 2010. édition remaniée. Quae, France. <https://www.quae.com/produit/753/9782759210114/alimentation-des-bovins-ovins-et-caprins>.

Arnal M., Larroque H., Leclerc H., Ducrocq V., Robert-Granié C., 2019. Genet Sel Evol 51, 43.

Berry D.P., and Crowley J.J., 2013. J Anim Sci 91, 1594-1613.

Brito L.F., Oliveira R. H., Houlahan K., Fonseca P.A.S., Lam S et al., 2020. Can J Anim Sci 100(4), 587-604.

Desire S., Mucha S., Mrode R., Coffey M., Broadbent J., Conington J., 2017. Proc 68th EAAP, Tallin, Estonia.

Gao H., Su G., Jensen J., Madsen P., Christensen O., Ask B., et al., 2021, Genet. Sel. Evol., 53:33.

Köck A, Ledinek M, Gruber L, Steininger F, Fuerst-Waltl B, et al., 2018. J Dairy Sci 101(1), 445-455.

Ma X., Christensen O., Gao, H., Huang R., et al, 2021. Heredity, 126, 206-217.

Machefert C., Robert-Granié C., G. Lagriffoul, Astruc J.M, Parisot S., et al., 2022. Proc. 12th World Cong. Appl. Livest. Prod, Rotterdam, The Netherlands.

Meyer K, 2007. WOMBAT—A tool for mixed model analyses in quantitative genetics by restricted maximum likelihood (REML) Journal of Zhejiang University Science, 8, 815-821.

Olson, K.M., Garrick D.J., Enns R.M., 2006. J. Anim. Sc., 84, 88-92.