

Réponses à la sélection pour deux critères d'efficacité alimentaire chez le lapin. 3. Analyse de la digestion et des rejets.

T. GIDENNE^{1,3}, H. GARREAU^{1,3}, C. MOLETTE^{1,3}, L. DROUILHET^{1,3}, H. GILBERT^{1,3}, C. LARZUL^{1,3}, BALMISSE E.², M. SEGURA^{1,3}, J. RUESCHE^{1,3}, M.L. CHEMIT^{3,1}, A. SECLA-TIRCAZES^{1,3}, C. BANNELIER^{1,3}, L. FORTUN-LAMOTHE^{1,3}

¹ INRA, UMR1388 GenPhySE, Ch. Borderouge, CS 52627, 31326 Castanet-Tolosan, France.

² INRA, UE 1322 PECTOUL, Ch. Borderouge, CS 52627, 31326 Castanet-Tolosan, France.

³ Université de Toulouse, INP, ENVT, GenPhySE, F-31076 Toulouse, France.

Résumé - Deux lignées de lapins ont été créées pour améliorer leur efficacité alimentaire (EA) entre le sevrage et 63 jours d'âge, selon 2 critères i) la consommation résiduelle (lignée ConsoResiduelle), ii) le gain moyen quotidien en alimentation restreinte (lignée GMQRestreint). La digestion et les rejets de ces lignées ont été comparés à une lignée témoin (G0), en alimentation ad-libitum (AL) ou restreinte de 20% (R). Après 9 générations de sélection, l'indice de consommation est réduit de 0,1 à 0,2 pts (resp. pour ConsoResiduelle et GMQRestreint), et est associé à une meilleure rétention de l'azote (réduction du rejet urinaire). Entre 29 et 63j. d'âge, le rejet azoté est réduit d'environ 12% chez les 2 lignées sélectionnées, alors que le rejet de phosphore n'est pas modifié. La restriction alimentaire produit une meilleure digestion de l'aliment et une meilleure rétention de l'azote (+5pts), et conduit à une réduction de 35% du rejet azoté, et de 50% du rejet de phosphore.

Abstract – Response to selection for two feed efficiency criteria in rabbit. 3. Digestion and faecal output analyses. Two lines of rabbits were created to improve feed efficiency (FE) between weaning and 63 days of age, according to two criteria i) residual intake (ConsoResiduelle line), ii) the average daily gain with restricted feeding (line GMQRestreint). Digestion and slurry output of these lines were compared to a control line (G0), under ad-libitum feeding (AL) or restricted by 20% (R). After nine generations of selection, the feed conversion ratio is reduced from 0.1 to 0.2 pts (resp. for ConsoResiduelle and GMQRestreint), and is associated with a better nitrogen retention (decreased urine output). Between 29 and 63d old, nitrogen output is reduced by about 12% in the two selected lines, while the output of phosphorus remained unchanged. The feed restriction improved the digestion and the retention of nitrogen (+5 points), and led to a 35% reduction of the nitrogen output and to 50% less phosphorus output.

Introduction

L'efficacité alimentaire (EA) est un indicateur essentiel pour juger des performances économique et environnementale d'un système d'élevage, puisque les coûts d'alimentation avoisinent 60% des coûts totaux et qu'il s'agit aussi de réduire les rejets (Gidenne *et al.*, 2013a). L'EA est donc prise en compte dans les schémas de sélection génétique de plusieurs espèces de rente (porc, poulet). L'EA est classiquement calculée par le ratio de l'ingéré/gain de poids ou indice de consommation (IC). On peut aussi estimer l'EA par la consommation alimentaire résiduelle (Garreau *et al.*, 2015). Un schéma de sélection sur ces 2 critères a été engagé en 2007 à l'INRA pour le lapin en croissance, et 2 lignées ont été créées : la lignée ConsoRésiduelle, sélectionnée pour réduire la consommation résiduelle lors d'une alimentation ad libitum, et la lignée GMQRestreint sélectionnée pour améliorer la vitesse de croissance lors d'une ingestion fixe et restreinte de -20% par rapport à l'ingéré libre. L'objectif de notre étude est de comparer les critères d'efficacité alimentaire, de digestion et de rejets fécaux et urinaires, dans les 2 lignées sélectionnées (9^{ème} génération) et dans la lignée non-sélectionnée (lignée G0 ; Drouilhet *et al.*, 2013; Garreau *et al.*, 2015). Il s'agit aussi de déterminer s'il existe une

interaction entre le niveau d'alimentation "NA" (ad libitum ou restreint) et la lignée "L" (après 9 générations de sélection) sur l'expression de ces caractères.

1. Matériel et méthodes

1.1. Schéma expérimental, alimentation et logement.

Le schéma expérimental est de type bi-factoriel (2 x 3) avec 2 niveaux d'alimentation (NA), ad libitum "AL" vs restreint "R" (80% de AL), et trois lignées (L): G0, GMQRestreint (9^{ème} génération) et ConsoResiduelle (9^{ème} génération).

L'aliment est granulé et de type commercial. Il ne contient pas d'antibiotiques, mais seulement un anticoccidien (Robenidine). Il est formulé pour couvrir les besoins du lapin en croissance. A l'analyse il contient: 14,4% de protéines brutes, 8,8% de cendres brutes de 8,8%, 5,3 g/kg de Phosphore, 24 mg/kg de Cuivre et 100 mg/kg de Zinc.

Les animaux ont été logés individuellement en cage à métabolisme, permettant la collecte des fèces et des urines, dans un bâtiment clos avec un éclairage artificiel (7h-19h).

1.2. Mesures

L'ingestion et le poids des animaux ont été contrôlés chaque semaine, du sevrage (29j.) à 63 jours d'âge.

La mortalité et la morbidité ont été contrôlées quotidiennement. Les fèces et l'urine ont été collectées individuellement et en totalité entre 42 et 46 jours d'âge (Gidenne *et al.*, 2013).

1.3. Analyses statistiques

Les données ont été analysées avec le logiciel SAS. Pour les paramètres de poids et d'ingestion, des analyses de variance ont été effectuées en utilisant la procédure MIXED avec un modèle impliquant 2 facteurs (lignée et niveau d'alimentation), et l'interaction entre ces deux facteurs. Avant cette analyse, l'homogénéité des variances a été vérifiée par le test de Bartlett. En cas de variance inégale, par exemple pour l'IC entre les lapins AL et R, une analyse spécifique a été réalisée afin d'en tenir compte.

2. Résultats et discussion

2.1. Croissance, ingestion et efficacité alimentaire

De 29 à 63 j. d'âge, l'ingestion libre des lignées GMQRestreint et ConsoResiduelle est similaire (130,8 g/j) et inférieure de 8% à celle de G0 (142,7 g/j, $P=0,016$). En parallèle, comme la croissance de ces 3 groupes d'animaux est identique (49,6 g/j ; NS), l'indice de consommation (IC) des 2 lignées en alimentation libre (AL) est identique (2,66) et inférieure de 7% à celle de G0 (2,85 ; $P<0,05$). Ces

résultats diffèrent de ceux de Garreau *et al.* (2015) pour les mêmes lignées à la 9^e génération de sélection, avec une ingestion plus faible de la lignée ConsoResiduelle par rapport aux deux autres lignées, et une croissance plus élevée de la lignée GMQRestreint. La différence d'IC entre G0 et les deux lignées sélectionnées est cependant similaire (0,2).

L'objectif de réduire l'ingestion de 20% sur la période totale de croissance (29 à 63j.) a été légèrement dépassé, puisque la réduction du niveau réel moyen d'ingestion est de 23,8% pour les 3 groupes R par rapport aux 3 groupes AL (Tableau 1). Nous n'observons aucune interaction significative entre l'effet lignée et niveau d'alimentation, pour les critères de croissance, d'ingestion ou d'IC. Ainsi, en moyenne, l'IC de G0 est supérieur de 5% à ceux des autres lignées (Tableau 1). Ces résultats sont comparables à ceux obtenus par Garreau *et al.* (2015) qui trouvent cependant une interaction significative entre la lignée et le niveau alimentaire pour la vitesse de croissance. En revanche, dans nos conditions expérimentales (cage individuelle et faible nombre de lapins), nous ne détectons pas d'effet favorable du rationnement sur l'IC, contrairement à la littérature (Knudsen *et al.*, 2015).

Tableau 1 : Croissance et efficacité alimentaire du lapin, selon sa lignée et le niveau d'alimentation

Période J29-63 ^μ	Lignées			Niveau alimentaire [£]		RMSE	L	Pr > F	
	G0	GMQRestr.	ConsoResid	AL	Restreint			NA	LxNA
Poids vif à J29 (g)	714	744	722	717	736	71	0,32	0,26	0,64
Poids vif à J63 (g)	2193	2239	2195	2399	2019	128	0,38	<0,01	0,25
Gain de poids (g/j)	43,5	44,0	43,3	45,0	30,2	2,53	0,66	<0,01	0,21
Ingestion d'aliment (g/j)	122,7	117,0	116,5	134,7	102,7	NC	NC	NC	NC
Indice de consommation*	2,82 ^a	2,66 ^c	2,70 ^b	2,73	2,73	0,13	<0,01	0,97	0,20

^μ: sevrage à 29 jours d'âge, J29. * : l'efficacité alimentaire est mesurée par le ratio "ingéré/gain de poids" (g/j) ou indice de consommation; NC : non calculable, car la variance est nulle pour les lots restreint; a,b,c Valeurs significativement différentes au seuil de 5%. [£]: AL, alimentation ad libitum, Restreint= alimentation à 80% de AL.

2.2. Digestion et rejets

Bien que le rationnement réel durant la période de digestibilité (42-46j) soit seulement de 11%, les lapins restreints présentent une digestibilité de la matière organique supérieure de plus de 6 pts (62,6 vs 56,2%, $P<0,05$; Tableau 2) par rapport à ceux nourris à volonté. L'accroissement de la digestion des protéines est similaire (+4,5 pts ; $P<0,05$). L'amélioration de la digestion chez le lapin restreint est souvent rapportée dans la littérature, avec cependant des ampleurs variables (Knudsen *et al.*, 2015). La restriction conduit ainsi à un rejet fécal (g sec) réduit de presque moitié. En revanche, le rejet urinaire (en g frais) est supérieur de près de 60% chez les lapins restreints, très probablement du fait d'une ingestion d'eau plus élevée (Knudsen *et al.*, 2015).

La sélection sur l'EA n'a que très légèrement amélioré la digestibilité de la matière organique et seulement pour la lignée GMQRestreint comparée à G0 (60,7

contre 59,4, $P<0,05$), tandis que la digestion des protéines n'est pas modifiée. De même, une absence de réponse à la sélection sur l'EA pour la digestion fécale a été observée chez le porc (Montagne *et al.*, 2014). Néanmoins, durant la période de mesure de la digestion, le rejet fécal de MS diffère entre les lignées mais dépend du niveau d'alimentation (interaction significative): il est inférieur pour les 2 lignées sélectionnées si elles sont nourries ad-libitum (-12%, 50,8 vs 57,0 g/j). Si elles sont restreintes le rejet fécal des 3 lignées est identique (35 g/j). En parallèle, le rejet urinaire des 3 lignées ne diffère pas significativement.

Concernant la digestion des protéines, remarquons que leur digestibilité est ici d'un bon niveau (71% en moyenne, Tableau 2), sachant que le taux protéique de l'aliment est modéré (14,4%). Le coefficient de rétention des protéines est élevé (>60%), comparativement à d'autres études où il est compris

en général entre 45 et 50%, avec cependant des variations importantes selon la teneur en protéines des régimes (Gidenne *et al.*, 2011, 2013b). Cet écart provient en grande partie de la concentration en azote relativement faible des urines (Tableau 3), qui est ici

en moyenne de seulement 1,6g/kg frais, alors que souvent elle se situe entre 2,5 et 6,0 g/kg dans la littérature. Cette faible teneur en azote des urines pourrait s'expliquer aussi par le taux protéique modéré de notre aliment.

Tableau 2 : Rejets et digestion du lapin en croissance, selon sa lignée et le niveau d'alimentation

Période J42-46*	Lignées			Niveau alimentaire				<i>Pr > F</i>	
	G0	GMQRestr	ConsoResid	AL	Restreint	<i>RMSE</i>	<i>L</i>	<i>NA</i>	<i>LxNA</i>
Poids vif à J46 (g)	1392	1435	1405	1502	1319	100,2	0,33	<0,01	0,22
Ingestion d'aliment (g/j)	126,1	116,3	108,8	123,7	110,4	NC	NC	NC	NC
Gain de poids (g/j)	49,8	49,3	49,5	50,1	49,0	5,9	0,95	0,41	0,54
Indice de consommation	2,54	2,38	2,19	2,46	2,29	0,50	0,056	0,15	0,25
Rejet fécal (g MS/j)	44,1 ^a	41,5 ^b	42,5 ^{ab}	52,7	35,2	3,3	<0,01	<0,01	0,012
Rejet urinaire (g frais/j)	149,5	136,7	119,8	105,0	163,0	66,6	0,39	<0,01	0,78
Digestibilité fécale, %									
Matière organique	59,4 ^a	60,7 ^b	59,6 ^{ab}	56,2	62,6	1,7	0,016	<0,01	0,50
Protéine brute	69,9	71,2	70,6	65,9	74,1	2,1	0,042	<0,01	0,25
Rétention protéique (%)	61,2 ^a	64,6 ^b	64,5 ^b	60,5	65,8	3,6	0,033	<0,01	0,26

*: période de mesure des rejets fécaux et urinaires ; a,b,c: valeurs significativement différentes au seuil de 5%.

La sélection sur l'EA a un effet favorable sur le coefficient de rétention des protéines (+3 pts, $P<0,05$), sans affecter la concentration azotée des fèces ou des urines (Tableau 3). Ainsi, la part relative (en % de l'ingéré de protéines) de protéines non rejetées dans les fèces et les urines, et donc considérée comme retenue dans le corps de l'animal, est meilleure pour les 2 lignées de lapins sélectionnés sur l'EA.

De même, la restriction alimentaire favorise ($P<0,05$) la rétention des protéines (+ 5 pt), ainsi qu'observé par Gidenne *et al.* (2011). Nous observons aussi que la restriction réduit la concentration en azote des fèces (-10%) et des urines (-30%). Pour ce dernier point, nous suggérons que cela provient d'un effet de dilution des urines chez les lapins restreints, du fait d'une ingestion d'eau plus élevée.

Tableau 3 : Concentration en azote et en oligoéléments dans les urines et les fèces du lapin en croissance, selon sa lignée et le niveau d'alimentation.

Période J42-46*	Lignées			Niveau alimentaire				<i>Pr > F</i>	
	G0	GMQRestr.	ConsoResid	AL	Restreint	RMSE	L	NA	LxNA
Concentration fécale									
Azote (g/kg DM)	19,1	18,8	18,7	20,1	18,0	0,9	0,18	<0,01	0,36
Phosphore (g/kg DM)	8,13	8,12	8,18	8,34	8,00	0,49	0,83	<0,01	0,29
Zinc (mg/kg DM)	291,3	294,7	290,5	269,6	308,5	25,7	0,75	<0,01	0,25
Cuivre (mg/kg DM)	59,3	62,0	60,2	57,2	63,0	3,7	0,072	<0,01	0,35
Concentration urinaire									
Azote (g/ kg frais)	1,58	1,52	1,56	1,86	1,31	0,57	0,98	<0,01	0,76
Phosphore (mg/kg frais)	29,3	26,3	29,7	18,1	36,6	19,2	0,81	<0,01	0,26

*: période de mesure des rejets fécaux et urinaires.

La sélection sur l'EA n'a pas modifié les concentrations fécales en oligo-éléments à risque pour l'environnement (Zn, Cu, P), ni la concentration urinaire en phosphore (Tableau 3). Par contre, la restriction a augmenté les teneurs en zinc et en cuivre dans les fèces (+15% et +10% resp.), et a doublé la concentration en phosphore dans les urines. Ainsi, le rejet total "fèces+urines" d'azote (provenant à 80% des fèces) sur la période 29-63j est en moyenne de seulement 42g, pour les lapins nourris librement (Tableau 4), que l'on peut estimer à environ 60g/lapin produit (naissance-vente). Cette valeur est néanmoins de moitié inférieure aux moyennes retenues habituellement (90 à 120g/lapin, CORPEN 1999,

Maertens *et al.*, 2005). Signalons que l'aliment utilisé ici a un taux protéique plus faible que les valeurs retenues pour les calculs CORPEN (16 à 17%), et que cela peut conduire à une forte réduction (jusqu'à 50%) du rejet azoté (Maertens, 1999). De plus, nos calculs sont effectués en conditions expérimentales optimales, avec un poids à la vente atteint à 63j (vs 70j en conditions "terrain"), et sans tenir compte de l'excrétion d'azote des lapins non vendus (mortalité). La sélection sur l'EA réduit le rejet total (fèces+urine) d'azote d'environ 12%. Cette baisse provient du rejet fécal azoté, si le lapin est nourri à volonté (34,9 vs 39,3g pour G0); et cet effet n'est pas détecté si les lapins sont restreints (20,6 g en moyenne, interaction

$L \times NA < 0,05$). La sélection sur l'EA produit aussi une réduction de l'excrétion urinaire d'azote, d'environ 20%, significative pour les 2 niveaux d'alimentation. La restriction alimentaire de 20% conduit à un rejet total d'azote (fèces+urines) réduit de près de 35% (et provient seulement de la réduction du rejet fécal). Cette baisse provient pour les 3/4 de la baisse de l'ingestion azotée, et pour 1/4 de la meilleure digestion fécale de l'azote.

Le rejet total moyen de phosphore, à 95% d'origine fécale, est environ de 15g pour la période 29-63j, soit les 3/4 de l'ingéré (21,4 g en moy.). De même, par modélisation, le ratio excrété:ingéré de phosphore est

estimé à 67-68% par Meda *et al.* (2014). Ce rejet est 30% inférieur aux valeurs usuelles (30 g/lapin produit, CORPEN 1999; Maertens *et al.*, 2005), et s'explique au moins partiellement, par nos conditions expérimentales optimales (cf. remarque précédente pour le rejet azoté). Le rejet de phosphore n'est pas modifié par la sélection sur l'EA, ni le rejet fécal de zinc ou de cuivre. La restriction baisse de moitié le rejet total de phosphore (à 95% d'origine fécal). Le rejet fécal en cuivre et en zinc est également fortement réduit chez le lapin restreint (-29% et -27%). Ce rejet correspond à environ 90% de l'ingestion de cuivre et à 99% de celle de zinc.

Tableau 4 : Rejets fécaux et urinaires en azote et oligoéléments du lapin en croissance, selon sa lignée et son niveau d'alimentation.

Période J29-63	Lignées			Niveau alimentaire			$Pr > F$		
	G0	GMQRestr.	ConsoResid	AL	Restreint	RMSE	L	NA	LxNA
Rejet fécal (gMS)*	1471 ^a	1381 ^b	1426 ^{ab}	1784	1159	102	<0,01	<0,01	0,010
Rejet urinaire (g)*	5628	4526	4008	3701	5498	2250	0,20	0,014	0,87
Rejet fécal en azote et oligoéléments									
Azote (g)	28,9 ^a	26,3 ^b	26,9 ^{ab}	35,9	20,6	2,5	<0,01	<0,01	0,017
Phosphore (g)	12,5	11,6	11,9	15,2	9,4	1,1	0,50	<0,01	0,88
Zinc (mg)	388,2	381,7	404,5	462,8	341,2	28,2	0,34	<0,01	0,87
Cuivre (mg)	83,6	84,2	86,3	101,9	72,5	6,3	0,91	<0,01	0,98
Rejet urinaire en azote et phosphore									
Azote (g)	7,8 ^a	5,9 ^{ab}	5,5 ^b	5,5	6,8	2,3	0,041	0,22	0,21
Phosphore (mg)	158	125	112	49	188	94	0,60	<0,01	0,99
Rejets totaux (fèces+urine)									
Azote (g)	36,8 ^a	32,3 ^b	32,4 ^b	41,9	27,4	3,49	<0,01	<0,01	0,44
Phosphore (g)	12,6	11,7	12,0	15,3	9,6	1,2	0,071	<0,01	0,32

*: rejets calculés pour la période J29 à J63, à partir des ratios ingéré/fèces et ingéré/urine, mesurés entre 42 et 46 jours d'âge.

Conclusions

La sélection pour l'EA a permis de réduire l'indice de consommation dans les deux lignées, avec le même progrès, associée à une meilleure rétention azotée (moins de rejets urinaires). Cette sélection conduit donc ainsi à une baisse de 20% du rejet azoté urinaire. La restriction alimentaire améliore la digestion et la rétention azotée, et surtout réduit fortement les rejets d'azote (-35%) et de phosphore (-48%).

Remerciements

Réalisé avec le soutien financier du CASDAR (n°9023, CUNIPALM).

Références

CORPEN (1999) Estimation des rejets d'azote et de phosphore par les élevages cynicoles. Comité d'Orientation pour des Pratiques Agricoles Respectueuses de l'Environnement.
Drouilhet L., Gilbert H., Balmisse E., Ruesche J., Tircazes A., Larzul C., Garreau H., 2013. Genetic parameters for two selection criteria for feed efficiency in rabbits. *J. Anim. Sci.* 91, 3121–3128.
Gidenne T., Combes S., Briens C., Duperray J., Rebours G., Salaun J.M., Weissman D., Fortun-Lamothe L., Combe Y., Travel A., 2011. Restricted intake and dietary protein concentration: effect on digestion and nitrogen excretion in the growing rabbit. In: G. Bolet (Ed) 13èmes J. Rech. Cunicoles, 22-23 nov, Le Mans, France, p21-24.

Gidenne T., Aubert C., Drouilhet L., Garreau H., 2013a. L'efficacité alimentaire en cuniculture: impacts technico-économiques et environnementaux. In: G. Bolet (Ed), 15èmes J. Rech. Cunicoles, 19&20 nov., Le Mans, p1-13.
Gidenne T., Combes S., Fortun-Lamothe L., 2013b. Protein replacement by digestible fibre in the diet of growing rabbits. 1- Impact on digestive balance, nitrogen excretion and microbial activity. *Anim. Feed Sci. Tech* 183, 132-141.
GARREAU H., GILBERT H., MOLETTE C., LARZUL C., BALMISSE E., RUESCHE J., SECULA-TIRCAZES A., GIDENNE T., DROUILHET L., 2015. Réponses à la sélection pour deux critères d'efficacité alimentaire chez le lapin. 1. Croissance, ingéré et efficacité alimentaire. In: 15èmes J. Rech. Cunicoles, 24-25 nov., Le Mans, France.
Knudsen C., Combes S., Briens C., Duperray J., Rebours G., Salaun J.M., Travel A., Weissman D., Gidenne T., 2015. La limitation post-sevrage de l'ingestion, une pratique favorable à l'efficacité alimentaire et à la santé: des mécanismes physiologiques à l'impact économique. In: 15èmes J. Rech. Cunicoles, 24-25 nov., Le Mans, France.
MAERTENS L., CAVANI C., PETRACCI M., 2005. Nitrogen and phosphorus excretion on commercial rabbit farms: calculations based on the input-output balance. *World Rabbit Sci.* 13, 3-16.
MÉDA B., FORTUN-LAMOTHE L., HASSOUNA M., 2014. Prediction of nutrient flows with potential impacts on the environment in a rabbit farm: a modelling approach. *Animal Production Science*, 54, 2042-2051.
MONTAGNE L., LOISEL F., LE NAOU T., GONDRET F., GILBERT H., LE GALL M., 2014. Difference in short-term responses to a high-fiber diet in pigs divergently selected for residual feed intake. *J. Anim. Sci.* 92, 1512-1523.