

Interactions entre l'origine paternelle et le régime alimentaire sur les performances de reproduction des lapines

JM Brun ^{1*}, F Lebas ²

¹ Station d'amélioration génétique des animaux ;

² Station de recherches cynicoles, Inra, BP 27, 31326 Castanet-Tolosan cedex, France

(Reçu le 2 décembre 1996 ; accepté le 11 mars 1997)

Summary — Interactions of sire and feed composition on the reproductive performances of breeding does. Reproductive performances of 225 cross-bred rabbit does 'Inra 1067', sired by 15 bucks of the A2066 strain mated to A1077 does were studied over 1 year. These does were fed isoenergetic diets containing 14.9% (B) or 21.6% (H) crude protein on dry matter basis. The diet did not influence litter size at birth or at weaning but individual weaning weight and hence litter weight were increased with diet H by 8.2 and 6.5% respectively. The interaction between sire and feed was investigated at two levels: 1) the structure of genetic variability within each feeding and particularly the part of does sire component of variance (which product by 4 is the cross-bred heritability in the strain A2066); and 2) the genetic correlation due to paternal genes between the expressions of the same traits in the two feedings, considered as two different traits. For litter size (total born alive, weaned) and litter weight at weaning, the sire part of variance was near zero with diet B leading to an heritability of 0.05 on average over these four traits, whereas the latter parameter was 0.42 with diet H. The individual weaning weight on the contrary, gave the same pattern of variability with both diets, with a similar heritability of about 0.14. The estimates of genetic correlations between the expressions of the same trait in the two diets were quite unaccurate, varying between -0.1 and + 1, the true value being likely low, about 0.4, for numerical productivity related traits. According to the proteic level of the feed, the expression of reproductive traits might involve partly different sets of genes.

genotype × environment interaction / rabbit / reproduction / protein feeding

Résumé — Les performances de reproduction de 225 lapines métisses « Inra 1067 », filles de 15 pères de la souche A2066 accouplés à des lapines A1077, sont étudiées pendant un an avec deux régimes alimentaires isoénergétiques : le régime « B », contenant 14,9 % de matières azotées totales

* Correspondance et tirés à part

Tél : 05 61 28 51 69 ; fax : 05 61 28 53 53 ; e-mail : brun@toulouse.inra.fr

par rapport à la matière sèche et le régime « H », en contenant 21,6 %. Le régime n'a pas eu d'effet sur la taille de la portée à la naissance et au sevrage mais l'usage de l'aliment H a augmenté le poids moyen du lapereau au sevrage et le poids de portée par rapport à l'aliment B, de 8,2 et 6,5 % respectivement. L'interaction entre l'origine paternelle et le régime alimentaire est examinée i) au niveau de la structure de la variabilité génétique dans chaque régime et en particulier au niveau de la part de la variance des caractères due au père de la lapine (dont le produit par 4 est l'héritabilité en croisement dans la souche A2066) et ii) au niveau de la corrélation génétique d'origine paternelle entre les expressions d'un même caractère dans les deux régimes, considérées comme deux caractères différents. Pour les tailles de portées (nés totaux, nés vivants, sevrés) et le poids de portée au sevrage, la part de la variance due au père est faible dans le régime B (héritabilité de 0,05 en moyenne sur ces quatre caractères) alors qu'elle est élevée dans le régime H (héritabilité de 0,42). Pour les nombres de lapereaux nés totaux et nés vivants, la part de la variance due à la mère est également inférieure dans le régime B. Le poids moyen du lapereau au sevrage se comporte différemment, avec une héritabilité identique dans les deux régimes, de l'ordre de 0,14. Les estimées des corrélations génétiques entre expressions d'un même caractère dans les deux régimes sont très imprécises et couvrent une large gamme de valeurs, comprise entre -0,1 et +1, avec une valeur vraie vraisemblablement faible, de l'ordre de 0,4, pour les quatre critères liés à la productivité numérique. Selon le niveau azoté de l'aliment, l'expression des performances de reproduction mettrait en jeu des gènes différents ou en partie différents.

interaction génotype × milieu / lapin / reproduction / alimentation protéique

INTRODUCTION

Deux facteurs interagissent lorsque l'effet de l'un dépend du niveau de l'autre. Une interaction génotype × milieu peut se traduire par une différence de classement des génotypes ou par une différence d'amplitude des écarts entre génotypes selon le milieu (Bowman, 1972). Lorsque les génotypes sont des géniteurs d'une même population, l'interaction peut être paramétrée en termes de génétique quantitative. Dans le cas de deux milieux, les paramètres d'une interaction génotype × milieu sont : i) la corrélation génétique entre les expressions d'un même caractère dans les deux milieux, considérées comme deux caractères différents (Falconer, 1952) – plus cette corrélation s'écarte de 1, plus l'interaction est forte – et ii) une structure différente de la variabilité génétique et, en particulier, une héritabilité différente selon le milieu.

Les interactions génotype × milieu ont des implications en amélioration génétique

et notamment en sélection, dans le choix d'un milieu de sélection compte tenu des milieux d'utilisation des animaux. Initiés par Hammond (1947) et Falconer (1952), les aspects théoriques et expérimentaux ont suscité de nombreux développements (Robertson, 1959 ; Yamada, 1962 ; Pani et Lasley, 1972 ; Cameron, 1993, pour ne citer que quelques exemples).

Nous avons recherché l'existence de telles interactions sur plusieurs caractères de reproduction chez des lapines métisses du croisement de deux souches sélectionnées, recevant deux régimes alimentaires à teneur haute et basse en protéines. Lors d'une analyse préliminaire (Brun et Lebas, 1994) nous avons testé cette interaction selon un modèle statistique simple, l'analyse de variance à effets fixés. Cet article approfondit l'analyse de l'interaction par l'estimation des paramètres de la variabilité génétique conjointe dans les deux régimes.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Animaux et régimes alimentaires

Les 225 lapines expérimentales de génotype Inra 1067 sont les filles de 15 mâles de la souche Inra A2066, d'origine raciale Californienne, accouplés à 98 femelles A1077, souche d'origine raciale Néo-Zélandaise Blanche. Elles sont nées entre mai et juillet 1990 à la suite de sept séries d'insémination artificielle réparties sur 10 semaines consécutives. Les souches A2066 et A1077 sont sélectionnées depuis 1975 sur les effectifs des portées à la naissance et au sevrage respectivement (Rouvier, 1981). Des pleines sœurs 1067 d'une même portée sont réparties de façon aléatoire et aussi équilibrée que possible entre les deux régimes alimentaires. En moyenne, une mère A1077 a donné une fille dans chaque régime alimentaire. La répartition des lapines expérimentales entre les pères et les régimes alimentaires est présentée au tableau I.

Deux aliments B et H ont été formulés pour contenir soit 14,9 %, soit 21,6 % de matières azotées par rapport à la matière sèche, sans modification notable du taux de fibres et de l'énergie digestible. L'équilibre en acides aminés par rapport aux protéines est comparable dans les deux cas. Les formules alimentaires et la composition chimique figurent au tableau II. L'aliment expérimental a été distribué à volonté entre l'âge de 119 j et la fin de l'expérimentation.

Les lapines ont été présentées au mâle pour la première fois à l'âge de 123 j. La reproduction a été ensuite conduite pendant 1 année avec un seul jour de saillies par semaine et avec un intervalle minimum de 42 j entre deux saillies fécondantes et remise au mâle des lapines non fécondées 2 semaines après une saillie infertile. Trente mâles titulaires et 10 mâles suppléants, de génotype « Hylus » (société Grimaud-Frères) ont été mis en place, et 33 mâles ont donné des portées dans les deux régimes. Les saillies ont été effectuées selon un plan d'accouplement tenant

Tableau I. Répartition des lapines expérimentales et des portées entre les 15 pères A2066 et les deux régimes alimentaires B et H.

Numéro du père A1066	Nombre de femelles A1077 accouplées	Aliment B		Aliment H	
		Nombre de lapines 1067	Nombre de portées	Nombre de lapines 1067	Nombre de portées
1	8	8	31	7	27
2	6	5	14	6	18
3	5	7	19	7	18
4	6	6	31	6	14
5	7	9	47	9	31
6	5	6	33	7	30
7	4	5	25	7	33
8	8	9	35	9	28
9	6	10	39	8	34
10	7	8	31	7	18
11	9	8	41	8	39
12	6	6	30	8	36
13	5	6	38	8	27
14	9	11	45	8	30
15	7	8	39	8	35
Total	98	112	498	113	418

Tableau II. Composition des deux aliments expérimentaux.

	<i>Régime alimentaire</i>	
	<i>B</i>	<i>H</i>
<i>Composition centésimale (%)</i>		
Blé	29,50	15,50
Son de blé	18,40	20,00
Luzerne déshydratée 17 LP	40,00	30,00
Tourteau de soja 48	5,00	20,00
Tourteau de tournesol 34	–	10,00
Paille de céréales	4,00	1,50
Phosphate bicalcique	1,30	0,60
Carbonate de calcium	0,60	1,36
Chlorure de sodium	0,50	0,50
Oligovitamines CL 17 (CCPA)	0,50	0,50
1-lysine HC1	0,15	–
dl méthionine	0,05	0,04
<i>Composition chimique calculée</i> <i>(% de la MS)</i>		
Matières azotées	14,9	21,6
– Lysine	0,74	1,06
– Acides aminés soufrés totaux	0,52	0,74
– Thréonine	0,55	0,81
Cellulose brute	15,0	14,7
ADF	18,7	18,5
NDF	31,0	30,5
Calcium	1,32	1,32
Phosphore total	0,68	0,69
Énergie digestible (méga-Joules/kilo)	10,37	10,84
g MAD/MJ ED	10,22	14,94

compte de l'origine paternelle des femelles et de leur régime alimentaire. Un mâle est accouplé à huit femelles issues de quatre origines paternelles, équilibrées entre régimes. Le sevrage était effectué à jour fixe de la semaine, 60 j après saillie, lorsque les lapereaux étaient âgés de 29 ± 1 j.

Les performances de reproduction analysées sont les nombres de lapereaux nés totaux et vivants par mise bas, le nombre et le poids total des lapereaux sevrés par portée sevrée ainsi que le poids moyen du lapereau au sevrage.

Modèle d'analyse

Les paramètres de l'interaction présentés dans l'introduction (différence d'héritabilité selon le milieu et corrélation génétique entre expressions d'un même caractère dans les deux milieux) sont pertinents dans le cas d'une population « pure ». Ils méritent d'être adaptés à notre situation où d'une part les animaux contrôlés sont croisés et où d'autre part, on privilégie l'origine paternelle. Nous proposons comme paramètres de l'interaction :

– i) La part de la variance due au père de la lapine dans chaque régime alimentaire, ou plus exactement, son produit par 4. Lorsque les animaux mesurés sont issus d'accouplements intrapopulation, cette dernière quantité représente l'héritabilité. Dans notre cas, il s'agit d'une héritabilité « en croisement », dans la souche paternelle A2066, pour les effets des gènes transmis par les pères aux lapines métisses et que, pour simplifier, nous appellerons « héritabilité ». Ce concept est différent du concept classique d'héritabilité (Brun et Rouvier, 1982).

– ii) La corrélation entre les effets génétiques d'origine paternelle dans les milieux B et H, rg_{B-H} , que nous appellerons « corrélation génétique d'origine paternelle ».

Les paramètres de l'interaction, fonction des composantes de la variance, sont estimés à partir d'un modèle linéaire bicaractère appliqué à l'ensemble des deux régimes, les deux caractères étant les expressions d'un même caractère dans ces deux régimes. Dans notre cas particulier, aucun individu (c'est-à-dire aucune portée) n'est mesuré pour les deux caractères. Cela se résout statistiquement en considérant la valeur du caractère non mesuré comme manquante.

Le modèle peut s'écrire :

$$y_{ijklm}^R = \mu^R + n_i^R + P_j^R + M_{jk}^R + C_l^R + e_{ijklm}^R$$

où y_{ijklm}^R est la mesure du caractère, dans le régime R, sur la m^e portée de rang i , issue du père l et d'une lapine de père j et de mère jk ;

μ^R la moyenne du caractère dans le régime R ;

n_i^R l'effet fixé du numéro de portée dans le régime R, comportant 4 niveaux (1, 2 + 3, 4 + 5, 6 et plus) ;

P_j^R et M_{jk}^R les effets aléatoires du père et de la mère de la lapine ;

C_l^R l'effet aléatoire du père de la portée ;

e_{ijklm}^R la résiduelle.

Les effets P_j^R ont entre eux des covariances non nulles liées à l'apparentement des pères A2066 entre eux. Leur calcul tient compte de deux générations d'ascendants. Les effets M_{jk}^R sont supposés de covariance nulle pour deux valeurs différentes de k , la parenté des mères A1077 n'étant pas prise en compte dans le modèle. La parenté entre pères des portées n'est pas non plus prise en compte et les effets C_l^R ont entre eux des covariances nulles.

Compte tenu du dispositif expérimental (dans la majorité des cas, une mère est représentée par une seule fille dans chaque régime), l'effet M_{jk}^R est composite : il comprend des effets maternels génétiques et de milieu mais aussi des effets non liés à la mère, parmi les effets de milieu communs aux portées successives d'une même fille. De ce fait, quand nous évoquerons cet effet composite dans les résultats, nous le mettrons entre guillemets : part de la variance « due à la mère » ou encore corrélation « d'origine maternelle ».

Les composantes de la variance et de la covariance à estimer sont :

var (P^B), var (M^B), var (C^B) et var (e^B) dans le régime B ;

var (P^H), var (M^H), var (C^H) et var (e^H) dans le régime H ;

cov (P^B , P^H), cov (M^B , M^H) et cov (C^B , C^H).

Ces composantes ont été estimées par la méthode du maximum de vraisemblance restreinte (Patterson et Thompson, 1971), couramment appelée REML. Le programme utilisé est la version 3,2 du logiciel de Groeneveld (1996). Les paramètres de l'interaction entre l'origine paternelle et le régime alimentaire sont estimés de la façon suivante :

– l'héritabilité dans chaque régime alimentaire est calculée à partir de la part de la variance due au père de la lapine, var (P), par :

$$h^2 = 4 \text{ var (P)} / [\text{var (P)} + \text{var (M)} + \text{var (C)} + \text{var (e)}]$$

– la corrélation génétique d'origine paternelle entre les régimes B et H, rg_{B-H} , est estimée par :

$$rg_{B-H} = \text{cov (P}^B, \text{P}^H) / [\text{var (P}^B) \times \text{var (P}^H)]^{0.5}$$

D'autres paramètres ont été estimés : la part de la variance des caractères « due à la mère » de la lapine et celle due au père de la portée, avec chaque régime, ainsi que la corrélation entre les expressions d'un caractère dans les deux régimes « due à la mère » de la lapine ou due au père de la portée. Ces corrélations sont estimées en remplaçant respectivement dans rg_{B-H} l'effet aléatoire du père de la lapine par celui de la mère de la lapine ou du père de la portée. Ces paramètres estiment l'interaction entre « l'origine maternelle » de la lapine (respectivement l'origine paternelle de la portée) et le régime alimentaire.

L'effet du régime alimentaire sur les moyennes des caractères a été estimé suivant un modèle d'analyse de variance incluant les effets fixés du régime alimentaire, du père de la lapine, de leur interaction ainsi que l'effet fixé du numéro

de portée, celui du père de la portée et son interaction avec le régime.

RÉSULTATS

Effet du régime sur les moyennes des caractères (tableau III)

Le type d'aliment n'a modifié la taille de portée ni à la naissance, ni au sevrage. En revanche, le taux de mortinatalité est significativement plus élevé avec l'aliment H. La consommation de l'aliment H a entraîné une augmentation significative du poids moyen du lapereau au sevrage (8,2 %) et du poids total de la portée (6,5 %) par rapport à celle de l'aliment B. L'utilisation de l'aliment H a permis une réduction significative de l'intervalle moyen entre deux portées consé-

cutives d'une même lapine : 50,6 j contre 53,6 j avec l'aliment B. À l'inverse, il nous semble important de souligner que le nombre total de mises bas obtenu en une année par lapine mise en place au sein du lot H est significativement inférieur à celui obtenu au sein du lot B (3,71 vs 4,54 portées ; $p < 0,01$). Ce nombre de portées plus réduit pour les lapines du lot H provient d'une élimination plus précoce de ces lapines (mortalité et/ou réforme pour infertilité).

Effet du régime sur la structure de la variabilité génétique des caractères

Le tableau IV donne la part de la variance totale des caractères qui est respectivement due au père de la lapine, à sa mère et au père

Tableau III. Performances de reproduction des lapines obtenues avec les deux régimes alimentaires.

	<i>Régime alimentaire</i>	
	<i>B</i>	<i>H</i>
Nombre de lapines ayant fait une portée au moins	112	113
Taux de fonte ¹ entre la 1 ^{re} portée et la fin de la bande (%)	68,5a	74,8a
Nombre de mises bas	498a	418b
Taux de mortalité de portées entières à la naissance (%)	4,2a	6,2a
Taux de mortalité de portées entières entre la naissance et le sevrage (%)	8,4a	9,7a
Intervalle moyen entre mises bas (j)	53,6a	50,6b
Nés totaux par mise bas	10,7a	11,0a
Nés vivants par mise bas	10,0a	9,8a
Mortinatalité (%)	7,1b	10,4a
Sevrés par sevrage	7,5a	7,6a
Mortalité 0–29 j (%)	22,6a	22,3a
Poids de portée au sevrage (g)	4428b	4900a
Poids moyen au sevrage (g)	613b	660a

¹Le taux de fonte est le pourcentage de lapines mortes ou éliminées en cours de bande. Les valeurs affectées d'une lettre différente sont significativement différentes au seuil $p = 0,05$. Les cinq premières lignes comportent des valeurs brutes ; les suivantes comportent des moyennes ajustées dans un modèle à effets fixés.

Tableau IV. Structure de la variance des caractères avec les régimes B et H et de la corrélation entre expressions d'un même caractère mesuré avec les deux régimes.

Caractère	Source de variation	Pourcentage de la variance des caractères ± écart type		Corrélations entre expressions d'un même caractère mesuré avec les deux régimes
		Régime B	Régime H	
<i>Nombre de lapereaux nés totaux</i>				
Père de la lapine (Pl)		0,2 ± 1,9	8,6 ± 4,3	0,41 ± 0,60
Mère de la lapine (Ml)		13,1 ± 3,2	17,9 ± 3,9	0,29 ± 0,19
Père de la portée (Pp)		11,0 ± 2,5	10,7 ± 3,7	0,78 ± 0,16
	Variance résiduelle	6,00 ± 0,27	5,82 ± 0,30	
<i>Nombre de lapereaux nés vivants</i>				
Pl		1,9 ± 2,0	6,6 ± 2,8	-0,02 ± 0,62
Ml		11,0 ± 2,8	14,7 ± 3,6	0,30 ± 0,22
Pp		11,4 ± 2,7	17,0 ± 4,5	0,34 ± 0,19
	Variance résiduelle	6,34 ± 0,28	6,77 ± 0,36	
<i>Nombre de lapereaux sevrés</i>				
Pl		1,6 ± 1,7	11,8 ± 4,0	0,29 ± 0,51
Ml		5,9 ± 2,3	7,8 ± 3,5	-0,28 ± 0,24
Pp		8,6 ± 2,5	11,0 ± 4,1	0,54 ± 0,23
	Variance résiduelle	4,73 ± 0,24	4,63 ± 0,27	
<i>Poids de la portée au sevrage (g)</i>				
Pl		1,0 ± 1,3	15,6 ± 5,6	1,00 ± 0,70
Ml		9,4 ± 2,6	6,3 ± 3,0	-0,89 ± 0,32
Pp		7,7 ± 2,5	10,6 ± 3,2	0,85 ± 0,17
	Variance résiduelle	116,9 ± 5,8	156,6 ± 8,8	
<i>Poids moyen du lapereau au sevrage (g)</i>				
Pl		3,0 ± 2,5	3,2 ± 2,9	-0,10 ± 0,62
Ml		10,9 ± 3,5	12,3 ± 3,8	0,14 ± 0,20
Pp		7,8 ± 2,5	12,8 ± 4,0	0,20 ± 0,27
	Variance résiduelle	111,6 ± 5,7	88,2 ± 5,4	

de la portée. Pour un régime donné, on peut regrouper d'une part les nombres de lapereaux nés totaux et nés vivants, qui montrent des pourcentages de variance semblables (groupe 1 de caractères), et d'autre

part le nombre de sevrés et le poids de la portée au sevrage (groupe 2). Le poids moyen du lapereau au sevrage constitue un 3^e groupe de caractères. Les profils des pourcentages de variance due aux trois sources

de variation considérées dans ces trois groupes de caractères sont représentés à la figure 1.

Pour les caractères des groupes 1 et 2, la part de la variance due au père de la lapine est sensiblement supérieure avec le régime H : pratiquement nulle avec le régime B (de l'ordre de 1 % en moyenne), elle varie selon le caractère entre 6,6 et 15,6 % avec le régime H. La part de la variance « due à la mère » est elle aussi supérieure avec le régime H, mais seulement sur les tailles de portées à la naissance, avec une valeur moyenne de 12 % avec le régime B contre 16 % avec le régime H. La part de variance due au père de la portée montre également

une tendance à la supériorité avec le régime H.

Le 3^e groupe de caractères, représenté par le poids moyen du lapereau au sevrage, présente un profil de variances différent de celui des caractères précédents : la part de la variance due au père de la lapine, de même que celle « due à sa mère », apparaissent non différentes dans les deux régimes alimentaires. En revanche, celle due au père de la portée montre une tendance à la supériorité dans le milieu H, avec une valeur de 13 contre 8 % dans le milieu B.

L'héritabilité des caractères, mesurée ici en croisement (tableau V), est en moyenne de 0,05 pour les tailles de portées et le poids

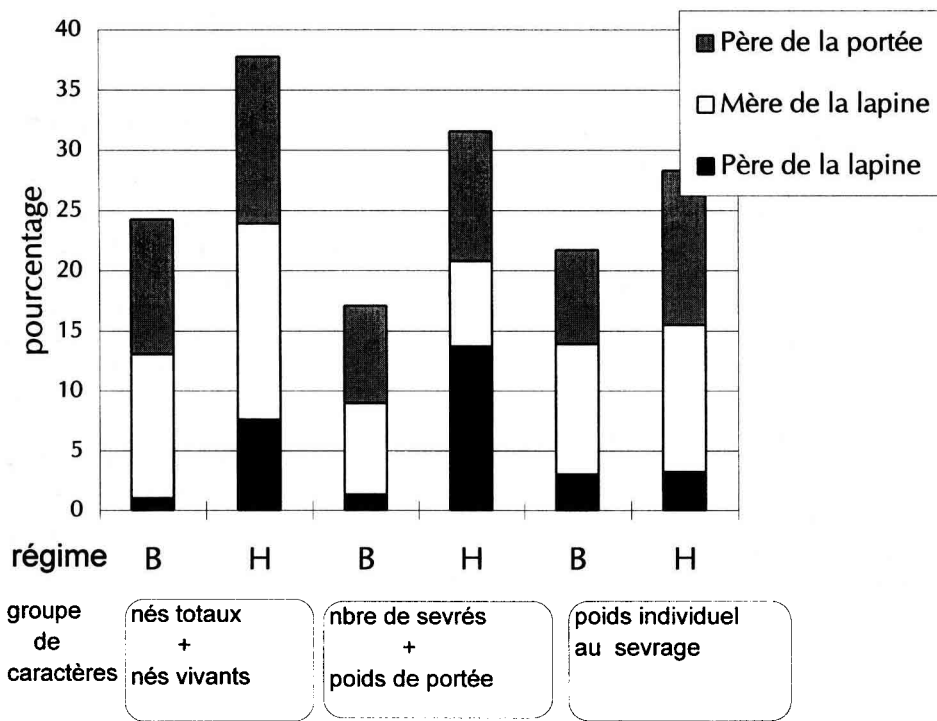


Fig 1. Pourcentages de la variance due à trois sources, dans les régimes B et H et pour trois groupes de caractères.

Tableau V. Paramètres de l'interaction entre l'origine paternelle et le régime alimentaire sur les performances de reproduction des lapines.

	<i>Héritabilité avec le régime B</i>	<i>Héritabilité avec le régime H</i>	<i>Corrélation génétique d'origine paternelle entre régime B et H</i>
Nombre de lapereaux nés totaux	0,01 ± 0,08	0,34 ± 0,17	0,41 ± 0,60
Nombre de lapereaux nés vivants	0,08 ± 0,08	0,26 ± 0,11	- 0,02 ± 0,61
Nombre de lapereaux sevrés	0,06 ± 0,07	0,47 ± 0,16	0,29 ± 0,51
Poids de la portée au sevrage (g)	0,04 ± 0,05	0,62 ± 0,22	1,00 ± 0,70
Poids moyen du lapereau au sevrage (g)	0,12 ± 0,10	0,13 ± 0,12	- 0,10 ± 0,62

de portée au sevrage avec le régime B contre 0,42 avec le régime H. Les héritabilités du poids moyen du lapereau au sevrage sont semblables dans les deux régimes, de l'ordre de 0,14.

Corrélation génétique d'origine paternelle entre les deux régimes, corrélations « due à la mère » de la lapine et au père de la portée (tableaux IV et V)

Les estimées des corrélations génétiques d'origine paternelle entre expressions des caractères dans les deux régimes sont très imprécises et, sur l'ensemble des caractères étudiés, couvrent une large gamme de valeurs, comprise entre - 0,1 et + 1. L'imprécision des estimations est renforcée par la très faible contribution additive du père de la lapine à la variabilité avec le régime B, entraînant de faibles valeurs de $cov(P^B, P^H)$ et de $var(P^B)$, respectivement au numérateur et au dénominateur de $r_{g_{B-H}}$ et dont les fluctuations peuvent avoir un fort retentissement sur les résultats. Si l'on fait l'hypothèse que cette corrélation génétique est la même pour les quatre caractères des groupes 1 et 2, liés à la productivité numérique et fortement corrélés entre eux,

on peut estimer cette valeur commune par la moyenne de leurs estimations respectives. Cela conduit à admettre comme vraisemblable une valeur faible, de l'ordre de 0,4, pour la corrélation génétique d'origine paternelle des caractères de productivité numérique.

Les corrélations « dues à la mère » sont estimées avec plus de précision que les corrélations génétiques d'origine paternelle. Les estimées sont de l'ordre de $0,3 \pm 0,2$ sur les tailles de portées à la naissance et prennent des valeurs négatives sur la taille et le poids de portée au sevrage, avec une moyenne de l'ordre de $- 0,6 \pm 0,2$. Il existerait des facteurs « liés à la mère », favorables aux filles alimentées avec un régime et défavorables aux filles alimentées avec l'autre, engendrant une interaction entre la mère de la lapine et le régime alimentaire.

Les corrélations dues au père de la portée sont positives sur tous les caractères étudiés. Elles varient entre 0,34 et 0,85 pour les tailles et le poids de portée, avec une moyenne de l'ordre de 0,60. Elle est plus faible pour le poids moyen du lapereau au sevrage, avec une valeur de 0,20. Ces valeurs traduisent une interaction entre le père de la portée et le régime alimentaire,

en particulier pour le poids moyen du lapereau au sevrage.

DISCUSSION

Les teneurs en matières azotées des deux aliments expérimentaux sont situées aux limites extrêmes des recommandations nutritionnelles actuelles (Inra, 1989). Elles avaient été choisies en raison de leur incidence faible sur la taille de portée et forte sur la production laitière (Fortun, 1990). Les tailles moyennes de portées n'ont effectivement pas été modifiées tandis que la production laitière, mesurée de manière indirecte par le poids moyen des lapereaux au sevrage, a été fortement stimulée par la teneur en matières azotées la plus élevée. Ainsi, les conditions d'ambiance d'élevage peu favorables attestées par la forte mortalité enregistrée entre la naissance et le sevrage (22,3 et 22,6 %) n'ont pas empêché l'expression des différences attendues entre les deux régimes alimentaires. L'existence d'interactions significatives entre le régime alimentaire et l'origine paternelle des lapines n'a pas d'incidence sur l'expression de l'effet principal des aliments, dans la mesure où nous avons 15 pères pour les lapines expérimentales et seulement deux types d'aliment. Aucun des mâles n'a eu assez de filles testées dans un lot donné pour risquer de créer un biais sur le sens des effets consécutifs à l'ingestion de l'aliment correspondant. À l'inverse, comme nous l'avons déjà mentionné (Brun et Lebas, 1994), l'existence de ces interactions traduit un classement des mâles différent selon le milieu alimentaire considéré. Le régime H a entraîné un accroissement de la mortalité des lapereaux. Celui-ci peut être relié au rythme plus intensif de reproduction enregistré avec les lapines recevant ce régime et au nombre finalement plus faible de portées sevrées au cours de l'essai par lapine présente au départ. Cette situation peut être considérée comme l'indice d'un épuisement

plus rapide des lapines recevant l'aliment le plus riche en matières azotées, conduisant à un taux de fonte plus élevé. En fait, nous retrouvons ici un cas particulier d'antagonisme lactation-reproduction déjà décrit par Xiccato (1996) dans sa revue sur l'alimentation des lapines allaitantes ou mentionné à l'occasion d'une augmentation de la production laitière permis par un apport plus élevé d'énergie (Lebas et Fortun-Lamothe, 1996). Au-delà de ce constat relatif aux effets de la composition des aliments expérimentaux, il nous paraît surtout important de souligner que nous avons effectivement créé deux milieux (alimentaires) différents, dans lesquels nous avons pu étudier les performances des filles des 15 mâles expérimentaux.

En ce qui concerne les paramètres de l'interaction génotype \times régime, il faut souligner la plus grande précision obtenue sur les composantes de la variance dans chaque milieu et les héritabilités qui en découlent que celle obtenue sur la corrélation génétique d'origine paternelle entre performances dans les deux régimes. Ceci est conforme à ce que l'on pouvait attendre (Robertson, 1959). Si l'on ne peut guère discuter les valeurs trop imprécises des corrélations génétiques, on peut, en revanche, discuter les différences de structure de la variabilité génétique entre régimes. On peut d'abord remarquer que le régime modifie la structure de la variabilité génétique pour des caractères comme les tailles de portées, bien qu'il n'ait pas d'effet sur leur moyenne alors qu'il ne la modifie pas pour le poids moyen au sevrage malgré un effet significatif sur la moyenne. Il y a ainsi indépendance entre les effets du régime sur les moyennes et sur la structure de la variance, ce qui confirme l'intérêt de considérer ces deux niveaux dans l'étude des caractères quantitatifs (Gallais, 1977).

La variabilité génétique additive due au père des lapines et l'héritabilité correspondante sont très supérieures avec le régime

H à celles du régime B (sauf pour le poids moyen au sevrage). De telles différences dans la part de la variance due au père en fonction du milieu ont été rapportées par plusieurs auteurs chez la souris (Falconer et Latyszewski, 1952 ; Falconer, 1960), chez le ver de farine (Orozco et Bell, 1974) et chez les oiseaux (Kipi, 1993).

Les héritabilités estimées à partir de la composante père de la variance sont des héritabilités dans la souche A2066 pour les effets des gènes transmis par les pères aux lapines métisses. Le concept est différent de celui de l'héritabilité intrasouche. Les héritabilités intrasouche des tailles de portée obtenues chez le lapin sont faibles, de l'ordre de 0,10 (Blasco, 1996), et sont donc de l'ordre de grandeur des valeurs trouvées avec le régime B, mais non avec le régime H où elles sont beaucoup plus fortes.

L'héritabilité supérieure avec le régime H signifie que ce régime discrimine mieux les pères sur la performance moyenne de leur descendance que le milieu B, ou encore qu'il permet une meilleure expression de la variabilité génétique du caractère mesuré. Dans le cas d'une sélection sur descendance métisse, il en résulterait une plus grande efficacité de la sélection dans le milieu H que dans le milieu B. Les valeurs faibles de la corrélation génétique entre les performances dans les deux régimes (sauf pour le poids de portée au sevrage) semblent indiquer que cette variabilité génétique ne reposerait pas sur les mêmes gènes dans les deux régimes.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier l'équipe cunicole de la Selap pour la fourniture des femelles expérimentales, l'équipe lapin du domaine Inra du Magneraud pour l'élevage des animaux et la collecte des données ainsi que les lecteurs anonymes de la revue pour leurs critiques constructives.

RÉFÉRENCES

- Blasco A (1996) Genetics of litter size and does fertility in the rabbits. 6th World Rabbit Congress, Toulouse 1996, vol 2, 219-227
- Bowman JC (1972) Genotype × environment interactions. *Ann Génét Sél Anim* 4, 117-123
- Brun JM, Lebas F (1994) Étude préliminaire des interactions entre l'origine paternelle et le régime alimentaire des lapines sur leurs performances de reproduction. VI^{es} Journées de la recherche cunicole, La Rochelle 1994. Inra-Itavi, 195-202
- Brun JM, Rouvier R (1982) Éléments de génétique quantitative d'une population F1 issue du croisement de deux populations. Génétique quantitative et appliquée des populations croisées. Toulouse, 13-14 octobre 1981, Inra Publ (Les colloques de l'Inra, n° 10)
- Cameron ND (1993) Methodologies for estimation of genotype with environment interaction. *Livest Prod Sci* 35, 237-249
- Falconer DS (1952) The problem of environment and selection. *Am Nat* 86, 293-298
- Falconer DS (1960) Selection of mice for growth on high and low planes of nutrition. *Genet Res* 1 91-113
- Falconer DS, Latyszewski M (1952) The environment in relation to selection for size in mice. *J Genet* 51, 67-80.
- Fortun L (1990) Deux aspects des interactions alimentation-reproduction chez la lapine. Mémoire de DEA. Université de Nancy, 35 p
- Gallais A (1977) Contribution à l'étude théorique et expérimentale de l'hétérosis chez une plante allogame autotétraploïde. Thèse de doctorat, université de Paris Sud, 341 p
- Groeneveld E (1996) Reaml VCE, a multivariate multi model restricted maximum likelihood (co) variance component estimation package. Version 3.2. User's guide.
- Hammond J (1947) Animal breeding in relation to nutrition and environmental conditions. *Biol Rev* 22, 195-213.
- Inra (1989) *L'alimentation des animaux monogastriques : porc, lapin, volailles*. Inra Éditions, Paris, 239 p
- Kipi A (1993) Étude de deux interactions génotype-milieu chez les volailles. Thèse, université de Paris-Sud, 100 p
- Lebas F, Fortun-Lamothe L (1996) Effects of dietary energy level and origin (starch vs oil) on performance of rabbit does and their litters : average situation after 4 weanings. 6th World Rabbit Congress, Toulouse 1996, vol 1, 217-222
- Orozco F, Bell AE (1974) A genetic study of egg laying of *Tribolium* in optimal and stress environments. *Can J Genet Cytol* 16, 49-60

- Pani SN, Lasley IF (1972) Genotype \times environment interactions in animals. Theoretical considerations and review findings. Research Bulletin, Agricultural Experimental Station. University of Missouri, Columbia, n° 992, 108 p
- Patterson HD, Thompson R (1971) Recovery of inter-block information when block sizes are unequal. *Biometrika* 58, 545–554
- Robertson A (1959) The sampling variance of the genetic correlation coefficient. *Biometrics* 15, 469–485
- Rouvier R (1981) Les travaux de recherche français sur la sélection du lapin au cours des 10 dernières années (1970–1980). Compte rendu de l'Académie d'agriculture de France, séance du 25 mars 1981, 509–524
- Yamada Y (1962) Genotype by environment interaction and genetic correlation of the same trait under different environments. *Jap J Genet* 37, 498–509
- Xiccato G (1996) Nutrition of lactating does. 6th World Rabbit Congress, Toulouse 1996, vol 1, 217–222