

Importance du choix du modèle d'analyse dans l'estimation des paramètres génétiques de la croissance des ovins à viande en Tunisie

S. BEDHIAF (1), J. BOUIX (2), V. CLEMENT (2), B. BIBE (2), D. FRANCOIS (2)

(1) INRA, laboratoire de Recherches Ovines et Caprines - Ariana, Tunisie

(2) INRA, SAGA, BP 27, 31326 Castanet-Tolosan Cedex, France

RESUME - Une analyse génétique a été réalisée à partir des données de troupeaux de la race ovine Barbarine de la Station d'Ouesslatia de l'INRA Tunisie. Cette race présente des qualités d'adaptation aux conditions de milieu subaride. La première étape a été d'identifier et de tester les facteurs environnementaux de variation des performances de croissance des agneaux. Les facteurs trouvés à effet très significatif étaient le troupeau, le sexe-mode de naissance des agneaux, l'âge de la mère, le mois de naissance des agneaux et la campagne d'agnelage. En effet, dans le cas de production en milieu difficile, le poids et la croissance de l'agneau sont fortement tributaires des variations des conditions climatiques. La deuxième étape a été d'étudier la qualité du modèle d'analyse choisi sur l'estimation des composantes de la variance des poids aux âges-types et des croissances. Dans le cas d'un modèle animal avec un seul effet aléatoire, correspondant à un effet direct, les valeurs d'héritabilités directes (h^2A) estimées sont relativement élevées et varient de 0,14 pour la croissance 30-90 jours à 0,22 pour le poids à un mois. Avec un modèle animal à effet direct et maternel, l'action des effets maternels sur la croissance des agneaux mesurée par l'héritabilité maternelle (h^2M) est trouvée plus importante que celle des effets directs (h^2A). Les valeurs d'héritabilité maternelle obtenues pour les poids à la naissance, à un mois et à 3 mois sont respectivement de 0,083, 0,081, 0,07, alors que celles de l'héritabilité directe (h^2A) des agneaux sont plus faibles et respectivement égales à 0,004, 0,001 et 0,001. Ceci pose d'autres questions par rapport au modèle de description des performances en milieu semi-aride, et notamment en première hypothèse, sur l'importance des phénomènes de variation de l'état corporel en relation avec les processus de mobilisation -reconstitution des réserves. La répétabilité estimée est relativement élevée et varie entre 0,21 pour le poids à 1 mois d'âge et 0,59 pour le poids à la naissance. Ces résultats montrent que l'élimination des effets maternels génétiques est responsable d'une surestimation de l'héritabilité des caractères de croissance du jeune. Ce travail met en évidence l'importance de la sélection sur la voie mère-fils et par conséquent la nécessité de disposer d'index femelles de qualité chez les ovins allaitants. En se basant sur ces résultats, une réflexion sur les orientations futures de l'amélioration génétique des ovins à viande en Tunisie pourra être envisagée.

Choice importance of analysis model for the estimation of genetic parameters of growth of meat sheep in Tunisia

S. BEDHIAF (1), J. BOUIX (2), V. CLEMENT (2), B. BIBE (2), D. FRANCOIS (2)

(1) INRA, laboratoire de Recherches Ovines et Caprines - Ariana, Tunisie

SUMMARY - A genetic analysis was carried out based on data collected from flocks of Barbary sheep, raised in Ouesslatia station (INRA). This fat tailed breed presents adaptation qualities for harsh environmental constraints. The first step was to identify and test environmental factors affecting the growth of lambs. The herd, sex and type of birth, age of dam, month at birth of lambs and the lambing year were highly significant as fixed factors. In fact, under difficult conditions of sheep management, lamb's weight and daily growth rate are highly dependent on climatic variations. The second step was to study the quality of model on the variance components estimation of weights at different ages. With an animal model including only one random effect, corresponding to direct effect, heritabilities were relatively high, they ranged from 0.14 to 0.22 respectively for average daily gain between 30 and 90 days and for the weight of lambs at one month. With an animal model including direct and maternal effects, the action of maternal effects on the lambs' growth, measured by the maternal heritability (h^2M) is found more important than the one of direct effects (h^2A). Maternal heritabilities obtained for weights at birth, at one month and at 3 months of age are respectively of 0.083, 0.081 and 0.07. However the direct heritabilities were low and respectively equal to 0.004, 0.001 and 0.001. These results lead to question about the model description of growth traits in semi-arid environment, first the importance of the body condition in relation with the process of mobilization - reconstitution of reserves should be studied. The estimated repeatability is relatively high and it varied from 0.21 for weight at 30 days of age to 0.59 for birth weight. These results show that the elimination of genetic maternal effects is responsible of an over estimation of lamb's growth traits heritability. Based on these results, a discussion on genetic breeding of meat sheep in harsh environment should be considered. This highlight the importance of the selection on dam-son way and consequently the necessity to have at one's disposal females indexes for breeding sheep.

INTRODUCTION

L'élevage de la race ovine Barbarine dans la steppe semi-aride représente l'une des activités les plus anciennes de la Tunisie centrale. La productivité des troupeaux conduits en extensif résulte de l'action simultanée des facteurs de milieu de production et du potentiel génétique de l'animal. Dans les milieux difficiles où les contraintes d'environnement (ressources naturelles et caractéristiques climatiques) y sont mal maîtrisées, l'atout principal pour la survie et la production d'une population animale est la rusticité (Khaldi et al., 1987). Ces caractères de rusticité s'expriment essentiellement chez les animaux adultes et d'autant plus que le milieu est contraignant, sachant que les mères assurent à la fois la production et la protection des jeunes (Bouix, 1992). Ces qualités d'adaptation des animaux aux conditions de milieu ne sont pas prises en compte actuellement de façon explicite dans les schémas de sélection. Il est donc primordial que les qualités maternelles soient un objectif de sélection prioritaire de cette race locale. Dans cette étude, nous nous proposons d'analyser en une première étape la croissance des agneaux Barbarins pour déterminer les différentes composantes de milieu qui agissent sur les paramètres de production. Dans une deuxième étape, nous avons étudié la qualité du modèle d'analyse choisi sur l'estimation des composantes de la variance des poids aux âges-types.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. MATÉRIEL

Une étude des paramètres statistiques élémentaires a été réalisée sur les performances de croissance de 11 937 agneaux de la race Barbarine nés entre 1968 et 1998 dans deux troupeaux de la station d'Ouesslatia (INRAT) située dans la steppe et sous un climat semi-aride.

1.2. VARIABLES ANALYSÉES

Les caractères de croissance disponibles dans la base de données étaient les poids à âge type PN, P10, P30, P70, P90 et les gains moyens quotidiens. Dans les troupeaux étudiés, le sevrage des agneaux a lieu entre 3 et 4 mois d'âge. La significativité de plusieurs facteurs environnementaux de variation des performances a été testée par la procédure GLM du logiciel SAS. Cette première étape a été faite en vue de rechercher les effets fixes qui avaient le plus d'incidence sur les variables étudiées, afin de les inclure dans le modèle mixte utilisé pour l'estimation des composantes de la variance.

1.3. MÉTHODES

Les hypothèses sous-jacentes aux modèles statistiques utilisés sont la distribution normale des variables et l'homogénéité des variances. Les performances de croissance étudiées suivent une distribution normale. Par contre leurs variances ne sont pas homogènes. Pour tester l'hétérogénéité des variances résiduelles, nous avons utilisé le test de BARTLETT qui a montré que l'hétérogénéité des variances obtenues dérive des différentes conditions environnementales et qui sont définies comme effet troupeau et campagne d'agnelage avec tous les effets fixes considérés.

Pour standardiser les données et pour le facteur troupeau*campagne, nous avons utilisé le test suivant :

$$Y^*_{ij} = (Y_{ij} - \bar{Y}_i) / S_i * \sigma_b + \bar{Y}_i$$

Y_{ij} = performance de croissance de l'agneau j pendant la campagne i

S_i = écart type résiduel intra troupeau-campagne.

σ_b = écart type résiduel global pour chaque performance de croissance

$\bar{Y}_i$ = moyenne ajustée de la performance de croissance étudiée
Les caractères de croissance avant sevrage sont caractérisés par un déterminisme génétique complexe qui inclut à la fois les effets directs et les effets maternels, la corrélation entre les deux étant généralement non nulle. Les effets génétiques directs sont les effets des gènes transmis par les parents, alors que les effets génétiques maternels sont dus à l'influence de la mère qui intervient comme un effet d'environnement chez le

jeune. Lors de l'estimation des paramètres génétiques, il est important de tenir compte de chacune de ces composantes, car elles sont l'expression de caractères différents. Ainsi les effets directs reflètent l'aptitude de croissance des jeunes et les effets maternels, le comportement maternel en général, en particulier l'aptitude laitière.

Modèle animal : Cas d'un caractère à effet direct

L'estimation des paramètres génétiques a été faite selon un modèle animal et ce en utilisant la méthode d'estimation des composantes de la variance par le maximum de vraisemblance restreint (REML) à l'aide du logiciel VCE (Neumeier et Groeneveld, 1998). Le modèle comprend des effets fixes et un effet aléatoire animal :

$$Y = X\beta + Z_a a + e$$

Y = vecteur des performances des animaux

β = vecteur des effets fixes (troupeau, sexe-mode de naissance des agneaux, âge de leur mère et mois de naissance des agneaux)

a = vecteur des effets génétiques additifs directs

e = vecteur des résiduelles

la matrice de variance-covariance des effets du modèle est la suivante :

$$\text{var} \begin{bmatrix} a \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A \sigma^2_a & 0 \\ 0 & I \sigma^2_e \end{bmatrix}$$

A et I étant respectivement les matrices de parenté et identité.

Modèle animal : Cas d'un caractère à effet direct et maternel

Bien que l'utilisation du modèle animal soit indispensable à l'obtention de paramètres génétiques non biaisés, elle n'est pas la seule condition requise. La qualité du modèle choisi pour l'estimation des composantes de la variance joue un rôle prépondérant, puisque c'est en fonction de la part relative des effets génétiques ou environnementaux, que vont être décidés les objectifs et les critères de sélection.

Dans les troupeaux de l'INRAT, l'information généalogique est disponible et suffisante pour permettre d'estimer quatre composantes de la variance, la variance génétique directe de l'agneau, la variance génétique maternelle, la variance résiduelle et la covariance génétique entre effets directs et maternels (Tab.5). Ainsi le modèle d'analyse utilisé comprend en plus des effets fixes, un effet aléatoire animal, un effet aléatoire mère, un effet d'environnement commun entre les descendants d'une mère et un effet de la portée.

$$Y = X\beta + Z_a a + Z_m m + Z_c c + Z_p p + e$$

Y = vecteur des performances des animaux

β = vecteur des effets fixes

a = vecteur des effets génétiques additifs directs

m = vecteur des effets génétiques maternels

c = vecteur des effets maternels environnementaux

p = vecteur des effets de la portée de la mère

e = vecteur des résiduelles

La matrice de variance-covariance des effets du modèle est la suivante :

$$\text{var} \begin{bmatrix} a \\ m \\ c \\ p \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A \sigma^2_a & A \sigma_{am} & 0 & 0 & 0 \\ A \sigma_{am} & A \sigma^2_m & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & I \sigma^2_c & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I \sigma^2_p & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & I \sigma^2_e \end{bmatrix}$$

A partir de ce modèle d'analyse, les paramètres génétiques estimés sont l'héritabilité directe ($h^2 A$), l'héritabilité maternelle ($h^2 M$), la part de variance d'origine maternelle environnementale (c^2) et la corrélation génétique entre effets directs et maternels $r(A,M)$.

RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. CROISSANCES MOYENNES

Nous remarquons qu'au fur et à mesure que l'agneau avance en âge, son gain de poids, exprimé par le gain moyen quotidien, ralentit (Tab.1), ce qui dénote l'effet favorable d'environnement que procure la mère à son produit pendant le premier mois d'allaitement et qui lui permet une croissance correcte durant son premier mois d'âge (GMQ13=186 g/j). Puis l'agneau est confronté aux conditions alimentaires des parcours, qui même en année favorable ne lui permettent pas une croissance équivalente à celle assurée par l'alimentation lactée (GMQ39=155g/j).

Tableau 1
Performances moyennes de croissance des agneaux des deux Troupeaux A & B

Caractère	Effectif	Moyenne	S.D
PN	12131	3.38	0.69
P10	12131	5.48	1.25
P30	12131	9.21	2.41
P70	12131	15.53	4.62
P90	12131	18.23	5.48
GMQ13	11937	186	71
GMQ37	11937	165	58
GMQ39	11937	155	54

2.2. FACTEURS DE VARIATION

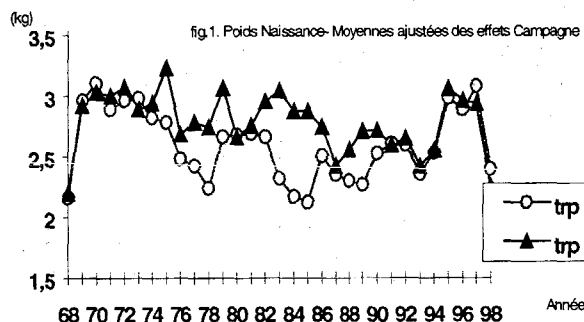
Les facteurs fixes significatifs (au seuil de 5%) ont été retenus pour les analyses ultérieures. Les résultats des analyses de variance sont présentés en tableau 2, les coefficients de détermination (R^2) varient entre 0.42 et 0.61. La combinaison troupeau*campagne (Trp*Ca), la combinaison sexe* mode de naissance (SMN), l'âge de la mère (Agm) et le mois de naissance (Mo) sont les principaux facteurs qui ont l'influence la plus importante sur la croissance des agneaux de la naissance jusqu'au sevrage.

Tableau 2
Facteurs de variations des poids aux âges-types

	ddl	PN	P10	P30	P90
Trp*Ca	61	***	***	***	***
SMN	3	***	***	***	***
Agm	6	***	***	***	***
Mo	3	**	***	**	***
R^2		0.42	0.54	0.61	0.53

*** : $p < 0.001$, ** : $p < 0.01$

La décomposition de la variance a montré que les performances de croissance des agneaux sont hautement tributaires des conditions du milieu. Ce résultat reflète bien l'importance des changements climatiques surtout à un âge avancé de l'agneau (entre 70 et 90 jours) quand l'alimentation est prélevée sur le parcours. Aussi, les résultats de la comparaison des moyennes obtenus pour les différentes performances de croissance reflètent l'importance de cette variabilité climatique inter et intra-annuelles. Ainsi, une année peut favoriser le



poids à un âge et le défavoriser à un autre suite à des pluies précoces ou tardives. Par exemple, durant la campagne 1994-95, on a enregistré la meilleure moyenne du poids à 90 jours et les poids à la naissance les plus faibles (fig. 1). A cet effet, une combinaison troupeau*campagne d'agnelage a été considérée avec 62 niveaux.

Un second effet combiné sexe*mode de naissance a été pris en compte. L'effet sexe présente 2 niveaux puisque les mâles ont des performances de croissance supérieures aux femelles, quel que soit l'intervalle de temps considéré. L'effet mode de naissance présente lui aussi 2 niveaux puisque les croissances obtenues par le groupe des naissances simples est supérieur à celui des naissances multiples (doubles essentiellement). En effet, en plus de la décomposition de la variance, les résultats des comparaisons des moyennes montrent que le mode de naissance des agneaux a un effet important sur leur poids aux différents âges types. Les produits nés simples ont des poids significativement ($p < 0.001$) supérieurs à ceux des nés multiples et ceci en raison de leur poids supérieur à la naissance et de leur consommation de lait individuellement plus importante que celle des multiples (Khaldi, 1989). La différence de gain de poids entre les agneaux nés simples et ceux nés multiples est de presque 50 g/j au cours de la période 10-30 jours, pendant laquelle les agneaux réalisent le maximum de croissance (Tab.3). Cette différence est moindre lorsqu'on considère les périodes 30-70 et 30- 90 jours (36 et 32 g/j respectivement). Des résultats similaires ont été avancés par Khaldi et al., (1987).

Tableau 3
Comparaison des moyennes brutes des caractères de croissance durant 31 campagnes

	PN	P10	P30	P70	P90
Mode naiss.					
Simple	3.55	6.06	10.27	16.76	19.47
Double	2.39	4.49	7.21	12.04	14.17
sexe					
Mâle	2.70	5.39	8.95	14.81	17.38
Femelle	2.68	5.15	8.53	14	16.26
Age					
2	2.32	4.8	7.91	13.29	15.64
3	2.72	5.27	8.83	14.52	16.96
4	2.78	5.42	9.03	14.98	17.46
5	2.83	5.48	9.08	14.97	17.45
6	2.85	5.44	9.01	14.77	17.23
>7	2.80	5.25	8.65	14.15	16.51

	GMQ13	GMQ37	GMQ39
Mode naiss.			
Simple	194.7	175	166
Double	145.5	139	134
sexe			
Mâle	170.3	168.3	161.6
Femelle	162.6	157.6	149
Age			
2	128	142.5	134
3	172.3	164.5	158.5
4	175.2	168.8	162.2
5	177.8	169.4	161.6
6	173.3	166.9	159.9
>7	146.6	158.2	149.8

Le facteur mois de naissance (Mo) des agneaux comprend 3 niveaux, qui correspondent en fait aux trois mois d'agnelage successifs car les chaleurs des brebis sont regroupées par mise en œuvre de l'effet bélier à contre saison sexuelle (mois d'avril et mai). Ainsi les agnelages seront regroupés sur les trois mois d'automne, période pendant laquelle la verdure est disponible. Quant au dernier effet fixe qui est l'âge de la brebis, il présente une influence significative ($p < 0.05$) sur tous les caractères de croissance des agneaux y compris pour la croissance entre 70 et 90 jours, lorsque l'agneau dépend moins de sa mère. Ce sont les primipares qui donnent les agneaux les moins lourds (tab.3). C'est à partir de 4 ans que l'état corporel de la brebis et sa production laitière deviennent plus favorables à une bonne croissance de l'agneau. Les performances de croissance les plus élevées sont obtenues chez les agneaux issus de mères âgées de 5 ans. Les agneaux issus de brebis âgées de 5 ans pèsent en moyenne 500g de plus à la naissance que ceux issus de brebis de 2 ans. Une chute des performances des agneaux a

été observée au-delà de 7 ans d'âge des brebis. Ces résultats confirment d'autres avancés par Aloulou (1990) et Bedhief & Djemali (1998).

2.3. INFLUENCE DE LA QUALITÉ DU MODÈLE SUR L'ESTIMATION DES PARAMÈTRES GÉNÉTIQUES PAR LE MODÈLE ANIMAL

En utilisant ce modèle à effet génétique direct de l'agneau, les valeurs d'héritabilité obtenues pour les caractères de croissance sont relativement élevées, avec des coefficients d'héritabilité qui oscillent entre 0.18 et 0.25 (Tab. 4). Ces valeurs sont dans l'ensemble comparables à celles obtenues par Ben Hamouda (1985) et Djemali et al., (1994) et ce sur des données de la même race et élevée dans les mêmes conditions que celles de l'INRAT, mais en utilisant un modèle père.

Tableau 4

Estimation des variances et de l'héritabilité pour les poids aux âges types et la croissance des agneaux avec un modèle animal à effet génétique direct

Variances	Caractère				
	PN	P10	P30	P70	P90
σ^2A	0.06	0.18	0.50	1.19	1.76
σ^2e	0.23	0.53	1.8	5.32	7.3
h^2A	0.21	0.25	0.22	0.18	0.19

σ^2A : variance génétique directe

Il est à signaler que ces valeurs sont estimées à partir d'un modèle d'analyse où l'effet génétique maternel et l'effet maternel environnemental sont négligés. Pourtant l'effet déterminant de la mère sur la croissance de son jeune avant sevrage est connu. De ce fait, la deuxième étape a été d'étudier les conséquences d'un modèle d'analyse incomplet sur l'estimation des paramètres génétiques.

A partir des résultats obtenus, on remarque que l'action des effets maternels sur la croissance des agneaux avant sevrage, mesurée par (h^2M) est plus importante que celle des effets directs (h^2A). Donc bien que les agneaux soient complémentés à partir de leur troisième semaine d'âge par un apport d'aliment concentré et du foin, on conçoit que dans ces conditions de milieu semi-aride, le potentiel de l'agneau soit mal exprimé. Cependant ces valeurs d'héritabilité maternelle, même si elles apparaissent très supérieures à celles des héritabilités directes, demeurent faibles dans l'absolu (Tab.5). Niaré (1986) observait des héritabilités maternelles de 0.30 en Ile de France et 0.22 en Rouge de l'Ouest pour le poids à 10 jours avec un modèle grand-père maternel (h^2A = respectivement 0.37 et 0.43 avec un modèle père).

Ces faibles valeurs de h^2M tiennent à une variabilité phénotypique très élevée par rapport aux performances moyennes ($\sigma^2T = 8,74$ pour une moyenne de 18,2 kg du poids à 90 jours). Ceci pose d'autres questions par rapport au modèle de description des performances en milieu semi-aride, et notamment en première hypothèse, sur l'importance des phénomènes de variation de l'état corporel en relation avec les processus de mobilisation -reconstitution des réserves. Les variances mères pour la croissance des jeunes (σ^2me) sont relativement importantes, elles varient de 160g à la naissance à 470 g à 1 mois d'âge des agneaux. Elles tendent à augmenter au fur et à mesure que les jeunes grandissent. Ces variances mères permettent de donner une estimation de la répétabilité de l'aptitude laitière intra-portée. Egale au rapport de la variance mère sur la variance totale, elle se montre relativement élevée et varie entre 0,22 pour le poids à 30 jours et 0,57 pour le poids à la naissance.

En résumé, ignorer les effets maternels génétiques est responsable d'une surestimation de la variance génétique directe de l'agneau et donc de l'héritabilité des caractères de croissance du jeune. La même conclusion a été rapportée par Clément (1999) lors d'une analyse génétique des caractères de croissance des petits ruminants. Ainsi en se basant sur ces résultats, une réflexion sur les orientations futures de l'amélioration génétique des ovins à viande en Tunisie pourra être envisagée. En effet, dans ces conditions difficiles du semi-aride on obtient des valeurs très faibles de l'héritabilité directe, vraisemblablement en raison

d'une mauvaise expression du potentiel de l'agneau. Il s'avère donc très difficile de repérer les meilleurs reproducteurs sur la base de l'expression de leur valeur génétique directe puisque le milieu de production ne permet pas d'extérioriser les meilleurs potentiels de production. Ceci met en évidence l'importance de la sélection sur la voie mère-fils et par conséquent la nécessité de disposer d'index femelles de qualité chez les ovins allaitants pour améliorer leur potentiel laitier.

Tableau 5

Estimation de la variance mères pour la croissance des jeunes (σ^2me) et de la répétabilité de l'aptitude laitière des mères (σ^2me/σ^2T)

Variances	Caractère				
	PN	P10	P30	P70	P90
σ^2A	0.001	0.009	0.001	0.002	0.01
σ^2M	0.02	0.042	0.18	0.48	0.65
σ^2C	0.02	0.05	0.2	0.55	0.72
σ^2P	0.12	0.11	0.09	0.49	0.86
σ^2e	0.12	0.46	1.7	4.8	6.5
h^2A	0.004	0.013	0.001	0	0.001
h^2M	0.083	0.061	0.081	0.076	0.07
$r(A, M)$	- 0.8	0.97	0.99	1	1
σ^2me/σ^2T	0.57	0.30	0.22	0.24	0.25

σ^2A : variance génétique directe

σ^2M : variance génétique maternelle

σ^2C : variance environnementale maternelle

σ^2P : variance de l'effet portée

σ^2e : variance résiduelle

$r(A, M)$: corrélation génétique entre effets directs et maternels

$\sigma^2me = \sigma^2M + \sigma^2C + \sigma^2P$: variance mères pour la croissance des jeunes

$\sigma^2T = \sigma^2A + \sigma^2me + \sigma^2e$: variance totale

CONCLUSION

Il paraît essentiel au vu des résultats obtenus sur les données des troupeaux ovins de l'INRAT sur une période de 31 ans, de considérer dans le modèle animal, l'ensemble des effets génétiques susceptibles d'intervenir sur le déterminisme des caractères étudiés.

Ainsi, le choix du modèle d'analyse est décisif pour une bonne estimation des paramètres génétiques, ces derniers constituent la source d'information la plus importante dans la sélection animale. Ils permettent de caractériser la race étudiée, de choisir la meilleure méthode de sélection des animaux et d'estimer le progrès génétique attendu.

Aloulou, R. 1990. Croissance pondérale de la race Barbarine dans le semi-aride tunisien. Coefficients de correction des paramètres génétique. Mémoire de cycle de spécialisation. INAT.

Bedhief, S., Djemali, M. 1998. Evaluation génétique des ovins viande par le modèle animal. Ann. de l'INAT. 13 (1).

Ben Hamouda, M. 1985. Description biométrique et amélioration génétique de la croissance pondérale des ovins de race Barbarine. Thèse de doctorat en sciences agronomiques, Université d'état de Gand.

Bouix, J., 1992. Adaptation des ovins aux conditions de milieu difficiles. Paris, France, INRA Production animales, p. 179-184. (Hors série : Eléments de génétique quantitative et application aux populations animales)

Clément, V., 1999. Estimation des paramètres génétiques des petits ruminants en milieu d'élevage traditionnel au Sénégal. Importance de la structure des données et du choix du modèle d'analyse. Thèse de doctorat- INA Paris-Grignon.

Djemali, M., Aloulou R., Ben Sassi, M. 1994. Small Ruminant Res., 13:41.

Khalidi, G ; Boichard D., Tchamitchian, L. 1987. Etude des facteurs de variation des paramètres de croissance des agneaux de race Barbarine. Ann. de l'INRAT. 60 (5).

Khalidi, G., Boichard, D. 1989. Effets directs et maternels sur les caractères de croissance en race ovine Barbarine. Ann. de l'INRAT. 62 (2).

Niaré, T.M. 1986. Simplification du protocole des pesées des agneaux de ferme. Thèse de docteur-ingénieur, INP - Toulouse.