Relations génétiques entre les capacités d'ingestion de taurillons, bœufs, génisses et vaches

VINET A. (1), KRAUSS D. (2), ANDRE C. (1), RENAND G. (1)
(1) INRA - UR 337, station de génétique quantitative et appliquée - 78352 Jouy-en-Josas
(2) INRA - UE 332 - domaine de Galles - 18520 Avord

RESUME - La capacité d'ingestion de fourrages grossiers représente une aptitude primordiale de la vache allaitante qui exploite prioritairement des surfaces herbagères (pâturage en été, fourrages conservés en hiver). Toutefois, les coûts alimentaires représentant une grande part des frais d'entretien du troupeau, il serait souhaitable de pouvoir sélectionner des vaches économes qui limitent leur consommation au-delà de leurs stricts besoins de production. Actuellement la sélection des taureaux d'insémination des races à viande spécialisées vise prioritairement à améliorer la croissance musculaire et l'efficacité alimentaire dans un système d'engraissement intensif. Cette sélection est-elle compatible avec le maintien d'une capacité d'ingestion suffisante de fourrages grossiers par les vaches et permet-elle de sélectionner des vaches plus économes, alors que cette sélection se pratique en station où les différences de capacités d'ingestion sont minimisées de par la concentration énergétique des rations ?

Des éléments de réponse sont apportés avec l'estimation des paramètres génétiques des caractères suivants : croissance, consommation alimentaire et consommation résiduelle, la consommation résiduelle nous permettant de comparer les niveaux d'ingestion des animaux corrigés pour leurs poids et variations de poids, ces caractères ayant été mesurés sur différents types d'animaux procréés et contrôlés sur le domaine INRA de Bourges : mille quatre cent huit taurillons, deux cent douze bouvillons, quatre cent quatre-vingt-dix-huit génisses et quatre cent soixante-douze vaches, issus pour l'essentiel de soixante pères.

Notre étude montre que les consommations moyennes et résiduelles sont moyennement héritables chez les mâles et faiblement héritables chez les femelles. Les corrélations génétiques entre consommations moyennes et poids et entre consommations moyennes et résiduelles sont élevées quel que soit le type de production considéré. Notre étude montre également qu'une sélection visant à augmenter la croissance des jeunes mâles tout en réduisant leur consommation résiduelle est possible et qu'une telle sélection devrait corrélativement permettre un accroissement du poids et des quantités de fourrage ingéré chez les vaches sans pour autant modifier leur consommation résiduelle.

Genetic relationship between feed intake in young bulls, steers, heifers and cows.

VINET A. (1), KRAUSS D. (2), ANDRE C. (1), RENAND G. (1)
(1) INRA, UR 337 Station de Génétique Quantitative et Appliquée, 78352 Jouy-en-Josas

SUMMARY - Feed intake capacity of forages is an essential ability of beef cows that have to exploit grassland, with summer grazing and stored forage feeding in the winter. A reduction of consumption above production requirements will, however, be highly beneficial since cow-feeding costs represent a large part of herd maintenance costs. Presently in France, selection of beef traits in beef breeds aims at improving muscle growth and feed efficiency in feed lots. Is this selection wise to maintain the forage intake capacity of cows and can it help in selecting cows that are thrifty in feed utilisation, while this selection is performed in station where differences in feed intake are minimised by energy content of the diet?

Basic responses are presented with the estimated genetic parameters of the following traits: weights, daily feed intake and residual feed intake measured in different types of animals procreated and controlled in the INRA experimental centre of Bourges: 1408 young bulls, 212 steers, 498 heifers and 472 culled cows, progeny of 60 sires. Residual feed intake is the intake adjusted for live weight and variation of weight during the test.

Feed intake and residual feed intake are moderately heritable in males and slightly heritable in females. Genetic correlations between feed intake and weight and between feed intake and residual feed intake are high whatever the animal type. Finally, our study shows that selection to increase growth and reduce residual feed intake of young growing bulls is possible. Correlatively this selection should, however, improve weight and feed intake of cows without modifying residual feed intake.

INTRODUCTION

La capacité d'ingestion est une aptitude primordiale des bovins allaitants de par son implication directe dans le bilan nutritionnel des animaux en élevage, en production ou à l'engrais. Elle participe également au bilan économique de l'exploitation à travers les quantités et coûts des aliments utilisés. Dans les systèmes d'engraissement intensif où cette aptitude est rarement limitante, la rentabilité économique passe par une transformation efficace des aliments ingérés permettant une croissance rapide. Pour le troupeau de femelles allaitantes, le système est beaucoup plus complexe. En effet les résultats économiques du troupeau dépendent des aptitudes des vaches à la reproduction et à l'allaitement d'une part et des charges d'entretien d'autre part. Or les fonctions physiologiques de production et de reproduction des vaches sont étroitement liées à leur bilan nutritionnel et donc, en premier lieu, aux quantités d'aliment ingérées. Parallèlement, un élevage durable implique nécessairement la réduction des coûts alimentaires qui représentent la grande majorité des charges d'entretien.

La capacité d'ingestion doit donc être optimisée. Elle doit être suffisamment élevée pour permettre l'expression des fonctions physiologiques des animaux, mais doit être limitée, sans réduction des performances, pour éviter le « gaspillage ».

Les facteurs de variation des quantités ingérées sont bien connus, mais force est de constater qu'il existe une forte variabilité entre animaux « toutes choses étant égales par ailleurs ». Cette variabilité est liée aux aptitudes de production des animaux et aux besoins non productifs (capacité digestive, besoins d'entretien, extra chaleur, etc.) Une mesure approchée de ces derniers a été proposée avec l'estimation de la consommation résiduelle qui est la différence entre les quantités effectivement ingérées et celles

qui sont prédites par la régression des quantités ingérées sur le poids moyen et les performances de production des animaux constituant la population d'étude (revues de Arthur *et al*., 2004, Pitchford, 2004). Les animaux avec les plus faibles consommations résiduelles sont les plus efficaces, car les plus économes pour un niveau de production donné.
Les études de la variabilité individuelle de l'ingestion pour déterminer la part d'origine génétique ont essentiellement été conduites sur des jeunes bovins en engraissement (taurillons, bœufs ou génisses). Les estimations les plus récentes montrent que l'héritabilité (h^2 = 0,38 en moyenne) de la consommation moyenne quotidienne est du même ordre de grandeur que celle des performances de croissance alors que celle de la consommation résiduelle (h^2 = 0,26 en moyenne) est sensiblement plus faible (Nkrumah *et al*., 2007, Hoque *et al*., 2006, Robinson et Oddy, 2004, Schenkel *et al*., 2004, Arthur *et al*., 2001a et 2001b, Herd et Bishop, 2000, Fan *et al*., 1995).
Par contre les études sur d'autres types d'animaux (génisses en élevage, vaches en production ou taries) sont beaucoup plus rares car le contrôle individuel de la consommation de fourrages grossiers est nettement plus difficile à réaliser que celui d'aliments d'engraissement. Une étude canadienne de Fan *et al*. (1996) portant sur mille cent soixante-quatorze lactations de cinq cent onze vaches allaitantes a mis en évidence une héritabilité des quantités d'ensilage consommées de seulement h^2 = 0,11 alors que celles du poids vif et de la production laitière étaient de h^2 = 0,40 et h^2 = 0,26 respectivement. La consommation résiduelle de chaque vache à chaque lactation a été estimée à partir du calcul théorique des apports énergétiques nécessaires pour couvrir les besoins d'entretien, de variation de poids, de lactation et de gestation. L'héritabilité de cette consommation résiduelle s'est révélée particulièrement faible, h^2 = 0,03.
Il est légitime de se poser la question si les mesures de l'ingestion réalisées lors de l'engraissement de jeunes bovins sont en relation avec l'aptitude à ingérer des fourrages grossiers par d'autres types d'animaux et si les animaux les plus efficaces dans la transformation des aliments pour la croissance sont également efficaces sur d'autres périodes de la vie des vaches allaitantes. En effet, s'il est tout à fait justifié de mesurer l'ingestion et de sélectionner les taureaux candidats à la reproduction sur leur efficacité alimentaire, il serait prudent d'estimer les corrélations génétiques de ces aptitudes avec l'ingestion et la consommation résiduelle dans d'autres types de production afin de s'assurer des conséquences prévisibles d'une telle sélection. Une seule étude australienne (Archer *et al*., 2002) rapporte des estimations de la corrélation génétique entre les mesures de l'ingestion sur jeunes bovins en croissance et sur vaches adultes taries avec des valeurs très élevées (rg > 0,9) autant pour la consommation résiduelle que pour consommation moyenne quotidienne. Toutefois, l'aliment utilisé pour les vaches était le même aliment condensé que pour les jeunes bovins et ces vaches étaient plutôt en phase d'engraissement que d'entretien.
L'objet du présent travail est d'estimer les paramètres génétiques, en particulier les corrélations génétiques, de l'ingestion et de la consommation résiduelle sur différents types d'animaux (jeunes bovins en croissance, vaches adultes) utilisant différents types de rations (aliments condensés ou fourrages grossiers) afin d'apporter des éléments de réponse à la question de l'incidence d'une sélection des taureaux dans un système intensif sur les capacités d'ingestion et d'utilisation de fourrages grossiers par le troupeau allaitant.

1. MATERIEL ET METHODES

Les données utilisées dans cette étude proviennent du domaine expérimental de l'INRA de Bourges (Cher). Elles sont constituées des performances de consommation et de croissance de mille quatre cent huit taurillons, deux cent douze bouvillons, quatre cent quatre-vingt-dix-huit génisses et quatre cent soixante-douze vaches nés entre 1985 et 2007. Ces animaux ont été majoritairement procréés à partir de soixante pères sélectionnés dans les stations de contrôle individuel des programmes de sélection des taureaux d'insémination animale en race charolaise.
Les taurillons et les bœufs furent contrôlés entre les âges de 10-15 et de 10-13 mois respectivement. Les génisses furent contrôlées pendant trois semaines vers l'âge de 15 mois et les vaches pendant quatre semaines à la suite de leur dernière lactation, juste avant leur réforme entre les âges de 5,5 et 7,5 ans.
Après une période d'adaptation, les animaux furent alimentés *ad libitum* pendant toute la durée des contrôles. La consommation alimentaire des animaux fut contrôlée individuellement par la pesée des apports et des refus d'aliments et la détermination des teneurs en matière sèche. La croissance des mâles fut contrôlée par des pesées bimensuelles et celle des femelles par des pesées en début et en fin de contrôle alimentaire.
Les taurillons furent engraissés avec un aliment condensé à 0,74 UFV / kg (15 % de cellulose, 13 % de MAT). L'objectif de croissance des b?ufs pendant leur premier hiver était de 1 kg / j. Cela fut réalisé avec de l'ensilage d'herbe (brome / trèfle), éventuellement complémenté lorsque sa qualité était insuffisante. Les rations des femelles, génisses en élevage et vaches taries, avaient pour objectif de maximiser les différences d'ingestion et seuls furent utilisés des fourrages grossiers. Les génisses furent alimentées avec le même ensilage d'herbe que les bœufs mais sans complémentation. Les vaches furent contrôlées sur un régime constitué uniquement de foin de montagne.
Les performances retenues dans cette étude sont : les poids moyens pendant les contrôles alimentaires (PMt, PMb, PMg, PMv, respectivement pour les taurillons, bœufs, génisses et vaches), les consommations moyennes quotidiennes de matière sèche (CMQt, CMQb, CMQg et CMQv) et les consommations résiduelles (CRt, CRb, CRg, CRv). Les consommations résiduelles permettent de comparer les niveaux d'ingestion des animaux corrigés pour leurs poids et variations de poids. Elles sont estimées intra-type de production (taurillons, bœufs, génisses ou vaches) en deux temps. Tout d'abord la régression des quantités ingérées sur les performances de croissance permet de mettre en évidence les relations spécifiques à chaque sous population et de prédire la consommation espérée de chaque animal ($E[CMQ_i]$). Ensuite la consommation résiduelle est obtenue par la différence entre la consommation observée (CMQ_i) et la consommation espérée : $CR_i = CMQ_i - E[CMQ_i]$. Plus cette différence est positive, moins l'animal est efficace puisqu'il réalise ses performances en ingérant plus d'aliments que les autres animaux du même type.
Dans tous les cas, les modèles de régression incluent des effets de milieu significatifs tels que l'année de contrôle et l'âge de l'animal. Pour les jeunes bovins (taurillons, bœufs

et génisses) les effets de l'âge de la mère et la gémellité sont également pris en compte.

La durée de contrôle des mâles fut suffisamment longue pour mesurer précisément leur gain moyen quotidien (GMQ). La consommation espérée est donc estimée avec le modèle suivant : $E[CMQ_i]$ = effets de milieu + $ß1_i x PM_i$ + $ß2_i x GMQ_i$ avec PM_i = poids moyen pendant les contrôles.

Par contre le niveau de croissance et la durée des contrôles des femelles (génisses et vaches) fut bien trop faible pour estimer précisément leur GMQ et seuls les poids en début (PD) et en fin (PF) du contrôle alimentaire furent utilisés. L'état d'engraissement des vaches de réforme au début des contrôles étant connu pour influencer la consommation (Garcia et Agabriel, 2007), son effet fut testé. Il apparut que cet effet était non significatif (Prob = 86 %). Le modèle suivant fut donc utilisé pour calculer la consommation espérée : $E[CMQ_i]$ = effets de milieu + $ß1_i x PD_i$ + $ß2_i x PF_i$.

Les analyses de régression furent réalisées à l'aide de la procédure GLM de SAS (SAS, 1999). Pour estimer les paramètres génétiques les données sont décrites avec un modèle animal qui inclut les relations de parenté entre les animaux contrôlés et leurs ascendants sur trois générations au minimum. Les composantes de variance et covariance sont estimées par la méthode du REML (*Restricted Estimation Maximum Likelihood*) multi caractère à l'aide du logiciel VCE (Kovac et Groeneveld, 2003). Puisque les pères des animaux expérimentaux ont été préalablement sélectionnés sur leurs propres performances, il a été nécessaire d'estimer simultanément les performances des pères et de leurs contemporains (cinq cent dix taureaux candidats) avec celles de leurs descendants contrôlés sur le domaine de Bourges pour éviter une surestimation de la variabilité génétique.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. VARIABILITE PHENOTYPIQUE

Les performances moyennes des animaux utilisés dans cette étude sont rapportées dans le tableau 1. Si les coefficients de variation du poids moyen des animaux sont homogènes entre les quatre type de production (CV = 9 %), ceux de la consommation moyenne diffèrent notablement entre types : 12 % pour les taurillons, 15 % pour les bœufs et génisses et 22 % pour les vaches. Les différences d'ingestion entre animaux sont donc plus marquées avec du foin chez les vaches, qu'avec un ensilage chez les bœufs ou génisses, ou avec un aliment condensé chez les taurillons.

Tableau 1 : performances des animaux (moyenne ± écart-type)

	PM (kg)	CMQ (kg MS / j)	CR (kg MS / j)
Taurillons	471 ± 41	10,3 ± 1,2	0,00 ± 0,80
Bœufs	395 ± 37	7,6 ± 1,1	0,00 ± 0,92
Génisses	398 ± 34	6,5 ± 1,0	0,00 ± 0,92
Vaches	707 ± 65	12,0 ± 2,7	0,00 ± 2,57

D'autre part, la comparaison des écart-types de la consommation résiduelle à ceux de la consommation moyenne quotidienne montre que la part de la variabilité de la consommation expliquée par celle des poids et variations de poids diffère notablement entre type de production : de 56 % pour les taurillons à seulement 9 % pour les vaches. Ces différences sont très largement parallèles aux différences de croissance : 1535 g / j, 1023 g / j, 424 g / j et 392 g / j respectivement pour les taurillons, bœufs, génisses et vaches.

2.1. VARIABILITE GENETIQUE

Les paramètres génétiques des poids et consommations relevés lors des contrôles alimentaires sont rapportés dans le tableau 2.

Les coefficients d'héritabilité de la consommation moyenne des jeunes bovins mâles sont moyennement élevés, du même ordre de grandeur que ceux du poids moyen, et sont tout à fait comparables à ceux de la littérature. L'héritabilité de la consommation résiduelle est également du même ordre de grandeur (h^2 = 0,33). Cette consommation résiduelle est génétiquement beaucoup moins corrélée au poids moyen que ne l'est la consommation moyenne. Ces paramètres génétiques montrent qu'il est possible, sans perdre trop d'efficacité, d'améliorer la croissance tout en réduisant la consommation résiduelle en sélectionnant les animaux avec un index synthétique adéquat. Une confirmation est apportée par les réponses à la sélection observées dans la présente expérimentation. En effet les soixante taureaux utilisés furent eux-mêmes sélectionnés en fin de contrôle individuel sur un index combinant leur poids (différentiel de +2,3 écart type) et leur consommation résiduelle (différentiel de -3,0 écart type). Les réponses à la sélection observées sur les descendants confirment l'efficacité de la sélection pratiquée : +0,34, +0,17 et –0,20 écart type respectivement pour le poids moyen, et les consommations moyenne et résiduelle des taurillons.

Les paramètres génétiques estimés sur les femelles sont nettement différents. Tout d'abord l'héritabilité des poids est élevée, et même très élevée chez les vaches adultes (h^2 = 0,80). Cette dernière valeur confirme la forte héritabilité du poids adulte estimée par Vinet *et al*. (2005) sur ce même troupeau. Ensuite la consommation moyenne présente de très faibles coefficients d'héritabilité (h^2 = 0,10 et 0,14). Ceux de la consommation résiduelle sont encore plus faibles (h^2 = 0,07 et 0,09). Comme pour les mâles en croissance, la consommation moyenne est génétiquement associée aussi bien au poids moyen qu'à la consommation résiduelle, mais la consommation résiduelle est par contre génétiquement indépendante du poids moyen.

Les héritabilités des variables de consommation des vaches sont aussi faibles que celles de l'étude canadienne estimées par Fan *et al*. (1996). Notons que dans l'étude australienne, l'héritabilité de l'ingestion de l'aliment condensé par les vaches adultes taries était nettement plus élevée (h^2 = 0,28). Il apparaît que la capacité d'ingestion et la consommation résiduelle, lorsque mesurées sur des vaches taries avec des fourrages grossiers utilisés essentiellement pour couvrir les besoins d'entretien sans accroissement marqué de la masse corporelle, sont des caractères présentant une faible héritabilité alors que les variations individuelles sont très élevées. La comparaison avec les résultats obtenus sur les taurillons montre non pas l'absence de variabilité génétique, mais la présence d'une très forte variabilité de milieu non identifiée.

On peut également se poser la question si les composantes de la consommation résiduelle mises en jeu chez ces vaches sont génétiquement différentes de celles mises en jeu chez les taurillons sachant que la consommation résiduelle traduit tout à la fois des différences de capacité digestive, d'efficacité de l'utilisation de l'énergie métabolisable pour l'entretien (activité physique, turnover et métabolisme tissulaire, etc.) ou pour la synthèse des protéines et lipides fixés dans l'organisme.

Bien que non mesurées sur les mêmes animaux, l'analyse génétique multi caractère permet d'estimer les corrélations génétiques entre toutes les variables quel que soit le type d'animal (tableau 2). On constate que les poids moyens sont génétiquement assez étroitement corrélés, avec des coefficients de corrélations autour de rg = +0,5. Par contre les corrélations génétiques sont plus faibles et moins homogènes pour les variables de consommation. En particulier la corrélation génétique de la consommation résiduelle des taurillons avec celle des vaches n'est que de rg = +0,17 montrant que le déterminisme génétique de ces deux aptitudes est largement différent. On peut se demander si cette consommation résiduelle n'est pas essentiellement liée à des différences de rendement de l'utilisation de l'énergie métabolisable chez les taurillons alors qu'elle serait plus liée à d'autres composantes telles la capacité digestive ou le fonctionnement du tube digestif chez les vaches

Tableau 2 : héritabilités et corrélations génétiques des poids moyens, consommations moyennes quotidiennes et des consommations résiduelles

	PMt	PMb	PMg	PMv	CMQt	CMQb	CMQg	CMQv	CRt	CRb	CRg	CRv
PMt	**0,26**	0,61	0,50	0,48	0,75	-0,01	0,16	0,42	0,30	-0,45	-0,17	0,05
PMb		**0,37**	0,59	0,35	0,31	0,59	0,56	0,26	-0,04	0,12	0,12	-0,04
PMg			**0,55**	0,57	0,26	0,25	0,67	-0,07	-0,10	-0,20	-0,04	-0,58
PMv				**0,80**	0,49	0,51	0,41	0,63	0,09	0,24	0,06	-0,10
CMQt					**0,31**	0,08	0,19	0,35	0,79	-0,17	0,08	-0,07
CMQb						**0,42**	0,68	0,42	0,03	0,84	0,52	0,03
CMQg							**0,14**	0,13	0,21	0,50	0,69	-0,20
CMQv								**0,10**	0,20	0,49	0,18	0,76
CRt									**0,33**	0,04	0,41	0,17
CRb										**0,33**	0,64	0,41
CRg											**0,09**	0,27
CRv												**0,07**

En gras sur la diagonale : héritabilités, au dessus de la diagonale : corrélations génétiques.

Quoi qu'il en soit, il est possible de conclure, à la vue de l'ensemble de ces paramètres génétiques, qu'une sélection visant à accroître le poids de jeunes bovins mâles en croissance et à réduire leur consommation résiduelle devrait accroître l'ingestion de fourrages grossiers des vaches proportionnellement à l'accroissement de leur poids sans modification de leur consommation résiduelle. Les réponses à la sélection observées sur les vaches filles des soixante taureaux sélectionnés sur l'index mentionné plus haut sont en effet respectivement de +0,58, +0,15 et +0,01 écart type pour le poids moyen, et les consommations moyenne et résiduelle. Ces résultats ne confortent pas ceux des études australiennes qui concluaient à la possibilité de réduire les besoins d'entretien du troupeau de vaches en sélectionnant les animaux destinés à la reproduction sur leur consommation résiduelle (Archer *et al*., 2002).

En Australie une expérience de sélection divergente sur la consommation résiduelle a par ailleurs été mise en place en race Angus en mesurant et sélectionnant les jeunes bovins de renouvellement sur cette consommation résiduelle. Les réponses à la sélection furent positives sur ce caractère pour des bœufs engraissés en *feedlot* comme au pâturage, mais aussi pour des vaches au pâturage (Herd *et al*., 2003). De plus l'efficacité accrue des vaches s'est accompagnée d'une moindre production de gaz à effet de serre (Herd *et al*., 2002).

CONCLUSION

Cette étude a permis d'obtenir les premières estimations des paramètres génétiques de la capacité d'ingestion de fourrages grossiers de jeunes bovins en croissance et de vaches adultes et d'approcher leur efficacité à travers le calcul de la consommation résiduelle. Même si l'héritabilité de la consommation des vaches adultes à l'entretien est faible, l'existence d'une variabilité génétique milite pour étudier plus finement ce caractère qui se révèle potentiellement intéressant pour sélectionner des vaches économes adaptées à un élevage durable.

Dans l'immédiat, il est possible de conclure que la sélection qui peut se pratiquer pour améliorer l'efficacité alimentaire en croissance n'a pas de conséquence sur la capacité d'ingestion des vaches mais ne permet pas non plus de réduire la consommation résiduelle de ces vaches.

Les auteurs remercient tout particulièrement l'équipe du domaine de Galle pour la quantité et la qualité des données enregistrées.

Archer J.A., Reverter A., Herd R.M., Artur P.F., Johnston D.J., 2002. *7th World Congr. App. Livest. Prod.*, communication n° 10-07

Arthur P.F., Renand G., Krauss D., 2001a. *Livest. Prod. Sci.*, 68, 131-139

Arthur P.F., Archer J.A., Johnston D.J., Herd R.M., Richardson E.C., Parnell P.F., 2001b. *J. Anim. Sci.*, 79, 2805-2811

Arthur P.F., Archer J.A., Herd R.M., 2004. *Aust. J. Exp. Agric.*, 44, 361-369

Fan L.Q., Bailey D.R. Shannon N.H., 1995. *J. Anim. Sci.*, 73, 365-372

Fan L.Q., Wilton J.W., Colucci P.E., 1996. *Can. J. Anim. Sci.*, 76, 81-87

Garcia F., Agabriel J., 2007. INRA Prod. Anim., 20, 137-150

Herd R.M., Bishop S.C., 2000. *Livest. Prod. Sci.*, 63, 111-119

Herd R.M., Arthur P.F., Hegarty R.S., Archer J.A., 2002. *7th World Congr. App. Livest. Prod.*, communication n° 10-22

Herd R.M., Archer J.A., Arthur P.F., 2003. *J. Anim. Sci.*, 81, E9-17

Hoque M.A., Arthur P.F., Hiramoto K., Oikawa T., 2006. *Livest. Sci.*, 99, 111-118

Kovac M., Groeneveld E., 2003. *VCE -5 User's Guide and Reference Manual version 5.1*

Nkrumah J.D., Basarab J.A., Wang Z., Li C., Price M.A., Okine E.K., Crews D.H., Moore S.S., 2007. *J. Anim. Sci.*, 85, 2711-2720

Pitchford W.S., 2004. *Aust. J. Exp. Agric.*, 44, 371-382

Robinson D.L., Oddy V.H., 2004. *Livest. Prod. Sci.*, 90, 255-270

SAS Institute Inc., 1999. *SAS / STAT® User's Guide, Version 8, Cary, NC : SAS Institute Inc*

Schenkel F.S., Miller S.P., Wilton J.W., 2004. *Can. J. Anim. Sci.*, 84, 177-185

Vinet A., Krauss D. Renand G., 2005. Renc. Rech. Ruminants, 2005, 12, 293-296