

# Interêt de la modélisation pour interpréter l'influence de la date de vêlage sur la durée de l'anoestrus post-partum chez la vache allaitante.

F. BLANC (1), J. AGABRIEL (2)

(1) Unité Elevage et Productions des Ruminants, ENITA Clermont, BP35, Site de Marmilhat - 63370 Lempdes

(2) Unité de Recherche sur les Herbivores, INRA-Theix - 63122 Saint Genès Champanelle

**RESUME** - Plusieurs études ont montré l'existence d'une corrélation linéaire négative hautement significative mais très variable entre la date de vêlage et la durée de l'anoestrus post-partum chez la vache allaitante. L'objectif de cette étude est de caractériser et formaliser la loi de réponse liant durée de l'anoestrus post-partum et date de vêlage et d'en identifier les principaux facteurs de variation connus (saison, parité). Une interprétation biologique de l'effet de la date de vêlage est testée par l'analyse statistique de données bibliographiques et expérimentales issues des domaines INRA de Laqueuille et du Pin. L'hypothèse retenue et testée considère que l'effet date de vêlage sur la reprise d'activité ovarienne post-partum rend compte d'une sensibilité de la vache à la variation de la photopériode au cours du mois précédant le vêlage. Une formalisation mathématique de cet effet est proposée et intégrée, après quantification, dans le modèle de prédiction de l'intervalle vêlage-reprise de cyclicité post-partum. La comparaison des prédictions de cette version du modèle avec celle du modèle initial, intégrant uniquement les effets de la parité, de la note d'état corporel au vêlage et de l'exposition au taureau a révélé une amélioration du potentiel prédictif du nouveau modèle.

## Modelling as a tool for understanding the influence of calving date on post-partum anoestrus in beef cows.

F. BLANC (1), J. AGABRIEL (2)

(1) Unité Elevage et Productions des Ruminants, ENITA Clermont, BP35, Site de Marmilhat - 63370 Lempdes

**SUMMARY** - Several studies showed a strong negative relationship between the calving date and the post-partum anoestrus in beef cows, and suggested that such an effect could be due to the incidence of photoperiod on the reproductive function of cows. The aim of this work was to quantify the effect of calving date and to analyse its factors of variation. Secondly, we develop statistical analyses on various data sets (bibliographical and experimental ones) in order to formalise the effect of the variation of photoperiod during the month previous to calving, a variable that we suppose to biologically explain the calving date influence on the post-partum acyclic period. Then, we include this effect in our predictive model of the post-partum acyclic period and compared the predictions given by this new version of the model to the previous one that only took into account the influences of parity, body condition at calving and bull exposure. This new version of the model improves the quality of predictions.

## INTRODUCTION

Le travail présenté s'intègre dans une démarche d'élaboration d'outils d'aide à la maîtrise de la production bovine allaitante (Ingrand *et al.*, 2002). Notre objectif est de développer un modèle de prédiction de la performance de reproduction à l'échelle du troupeau rendant compte de la variabilité des performances individuelles (répartition des intervalles vêlage-vêlages et distribution des vêlages). Ce modèle est basé sur une représentation événementielle du processus de reproduction. Pour chaque individu, une séquence d'événements (mise-bas, reprise de cyclicité, saillie fécondante) conditionne le passage d'un état reproductif à un autre (acyclique / cyclique / gestante). Les transitions d'un état à un autre obéissent à des lois de réponse pouvant être influencées par des variables biologiques liées à l'animal lui-même (race, parité, état nutritionnel, condition de vêlage) ou à son mode de conduite (mode d'allaitement, modalités de conduite de la reproduction). Une première version du modèle (modèle A) intégrant l'influence combinée de la note d'état corporel de la vache au vêlage (Necvel) et de son exposition au taureau (intervalle vêlage-entrée du taureau, Iveltaur) sur la reprise de cyclicité post-partum (IVCyc) a été élaborée mais la confrontation des simulations aux données observées a révélé un biais et la nécessité d'affiner la loi de prédiction (Blanc *et al.*, 2002). Notre effort a porté sur l'intégration explicite dans le modèle (modèle B), de l'influence de la date de vêlage sur la durée de l'anoestrus post-partum, effet qui se retrouvait artificiellement inclus dans le modèle précédent

dans la variable Iveltaur. En effet, le taureau étant introduit à date fixe dans le troupeau, Iveltaur rend compte, de fait, de la variabilité des dates de vêlage à l'échelle du troupeau.

L'attention portée à l'effet de la date de vêlage dans notre modèle se justifie non seulement en raison de son importance propre, mais aussi de ses possibles répercussions sur la détermination de l'intervalle vêlage-saillie fécondante, l'IVCyc pouvant influencer la durée du premier cycle oestrien ainsi que la probabilité de fécondation au premier oestrus (Pleasant et Barton 1992 ; Pleasants et McCall, 1993).

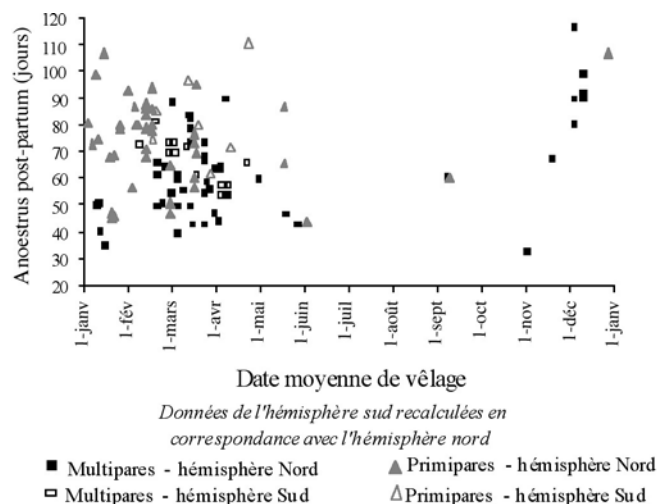
L'hypothèse retenue est que la liaison observée entre la date de vêlage et la durée et l'IVCyc rend compte d'une sensibilité de la vache allaitante à la photopériode. L'objectif de cette étude est de quantifier et de formaliser cet effet.

## 1. MATERIEL ET METHODES

Les données mobilisées pour cette étude sont de deux types : bibliographiques (moyennes de lots expérimentaux) et expérimentales (données individuelles). Les données bibliographiques (n=117) sont extraites d'articles dans lesquels les dates de vêlage et les durées d'anoestrus post-partum ou les intervalles vêlage-reprise d'activité ovarienne sont précisés. Il ne s'agit donc pas nécessairement d'articles traitant spécifiquement de la relation entre date de vêlage et performance de reproduction. Dans ce jeu de données, les vêlages moyens s'échelonnent du 2 janvier au 21 décembre, avec toutefois l'absence de donnée entre juin et septembre (figure 1).

**Figure 1** : relation entre la durée de la période acyclique *post-partum* et la date calendaire de vêlage.

Données bibliographiques (n=117 moyennes de lots)



Les jeux de données expérimentales sont issus des domaines INRA de Laqueuille (Unité des Monts Dore) et du Pin (Agabriel *et al.*, 2004, Blanc *et al.*, 2002 ; Dozias *et al.*, 2006). Ils ont été constitués à partir de résultats d'expérimentations réalisées sur des vaches Charolaises primipares (Le Pin : n=188 ; Laqueuille : n=139) et multipares (Le Pin : n=252 ; Laqueuille : n=123) pour lesquelles l'intervalle vêlage-reprise de cyclicité *post-partum* a été déterminé par suivi de l'évolution des concentrations de progestérone plasmatique après le vêlage. Dans ces jeux de données, les principaux facteurs expérimentaux testés sur la performance de reproduction sont la saison (vêlages d'hiver et de fin de printemps à Laqueuille), l'état corporel (niveaux alimentaires maîtrisés à Laqueuille et au Pin) et l'exposition au taureau (précoce vs. tardive à Laqueuille). La monte est toujours réalisée de façon naturelle et les vaches ayant subi une césarienne ont été retirées du jeu de données. Sur l'ensemble de ces données, les dates de vêlages se répartissent entre le 14 décembre et le 20 mai au Pin et entre le 25 décembre et le 17 juin à Laqueuille.

L'intervalle vêlage-reprise de cyclicité (IVCyc) a été analysé par analyse de variance à modèle mixte (proc mixed, SAS) dans laquelle l'expérimentation est considérée comme un facteur aléatoire. Le seuil de signification retenu est  $p < 0,05$ . Le modèle de prédiction de l'IVCyc incluant l'effet de la photopériode (modèle B) est ensuite comparé à la précédente version du modèle (modèle A, Blanc *et al.*, 2002). Les critères de comparaison de ces deux versions sont ceux proposés par Caugh *et al.* (2003), qui rendent compte de la dispersion des valeurs prédites ( $X_n$ ) par rapport aux valeurs observées ( $Y_n$ ) ( $MSD = \sum(X_n - Y_n)^2 / N$ , où N est l'effectif), du biais de translation entre les  $X_n$  et les  $Y_n$  ( $SB = (\bar{X} - \bar{Y})^2$ , où  $\bar{X}$  et  $\bar{Y}$  sont respectivement les moyennes des  $X_n$  et des  $Y_n$ ) et du biais de rotation

( $NU = (1-b)^2 \times (\sum x_n^2 / N)$ ) par rapport à la valeur théorique 1 de la pente (b) de la droite de régression entre les  $X_n$  et les  $Y_n$ .

## 2. RESULTATS

### 2.1. CARACTERISATION DE LA LIAISON ENTRE DATE DE VÊLAGE ET PERFORMANCE DE REPRODUCTION

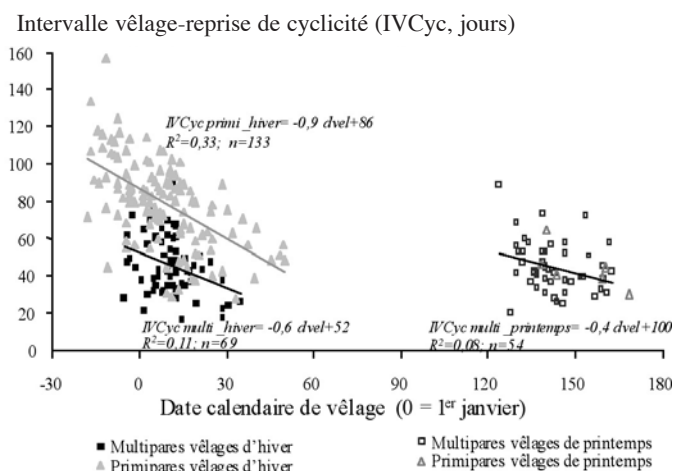
#### 2.1.1. Quantification de la relation

Plusieurs études basées sur l'analyse de données collectées en élevages ou en fermes expérimentales rendent compte d'une corrélation négative entre la date de vêlage et l'intervalle vêlage-vêlage (IVV) (tableau 1). L'effet de la date de vêlage exprimée en jours calendaires, se traduit par une diminution de l'IVV d'environ 0,6 à 0,75 j/j selon les auteurs. C'est plus précisément sur l'IVCyc que cet effet semble se positionner. En effet, plusieurs études mettent en évidence une corrélation négative avec la date de vêlage, ceci aussi bien sur des troupeaux allaitants de l'hémisphère nord que de l'hémisphère sud. Les coefficients de régressions linéaires (pentes) varient entre -0,3 et -1,05 j/j selon les études (tableau 1). Quelques auteurs notent l'absence de corrélation ou encore une relation inverse, mais il s'agit alors d'analyses réalisées sur des vêlages très dispersés à l'échelle de l'année (Hansen et Hauser, 1983) ou bien sur des vêlages de fin d'été dans l'hémisphère nord (Laster *et al.*, 1973).

#### 2.1.2. Facteurs de variation de la relation

L'influence de la date de vêlage sur l'IVCyc semble s'exercer quel que soit le niveau nutritionnel des vaches (Smeaton *et al.*, 1986 ; Montgomery *et al.*, 1985). Elle apparaît également plus importante chez les primipares que chez les multipares (Knight et Nicoll, 1978). Une telle interaction s'observe également sur nos jeux de données avec une diminution de l'intervalle vêlage - première ovulation presque deux fois plus importante chez les primipares du Pin que chez les multipares (-0,56 j/j vs. -0,28 j/j). Un résultat similaire est obtenu sur les vêlages d'hiver de Laqueuille (figure 2). Enfin, sur les troupeaux de Laqueuille, on observe une diminution de la durée de la période acyclique en fonction de la date de vêlage plus importante en hiver qu'au printemps (mi-mai à mi-juin) (Agabriel *et al.*, 2004) (figure 2).

**Figure 2** : effet de la date de vêlage (dvel) et de la parité sur l'intervalle vêlage-reprise de cyclicité *post-partum* chez les vaches Charolaises de Laqueuille.



**Tableau 1** : références bibliographiques rapportant une relation quantitative entre la date de vêlage et la performance de reproduction chez la vache allaitante.

Critère de performance de reproduction	Saison de vêlage	Pays	Coefficient de régression avec la date de vêlage	Auteurs
IVV	Hiver	Ecosse	-0,75 j/j	Osoro et Wright, 1992
IVV	Hiver	France	-0,4 j/j (primipares) ; -0,2 j/j (multipares)	Agabriel <i>et al.</i> , 1992
IVV	Printemps	NZ	-0,70 j/j (Angus) ; -0,54 j/j (Hereford)	Morris, 1984
IVV	Printemps	Afr. Sud	-0,72 j/j	MacGregor et Casey, 1999
IV-1 <sup>er</sup> oestrus	Année	NZ	de -0,3 à -0,8 j/j selon le génotype et la parité	Knight et Nicoll, 1978
IV-1 <sup>er</sup> oestrus	Hiver	NZ	-0,60 j/j	Pleasants et McCall, 1993
IV-1 <sup>er</sup> oestrus	Printemps	NZ	-1,05 j/j	Morris <i>et al.</i> , 1978
IV-1 <sup>er</sup> oestrus	Printemps	Canada	-0,43 j/j	King et Macleod, 1984
IV-1 <sup>er</sup> oestrus	Printemps	Montana	-0,72 j/j	Bellows et Short, 1978
IV-1 <sup>er</sup> oestrus	Printemps et Automne	NZ	Printemps : -0,60 j/j ; Automne : ns	Montgomery <i>et al.</i> , 1980
IV-cyclicité	Automne et Hiver	Ecosse	Automne : -0,35 j/j ; Hiver : -0,38 j/j	Peters et Riley, 1982b
IV-cyclicité	Hiver	NZ	-0,40 j/j	Montgomery <i>et al.</i> , 1985
IV-cyclicité	Hiver et Printemps	France	Hiver : -0,60 j/j ; Printemps : -0,40 j/j	Agabriel <i>et al.</i> , 2004

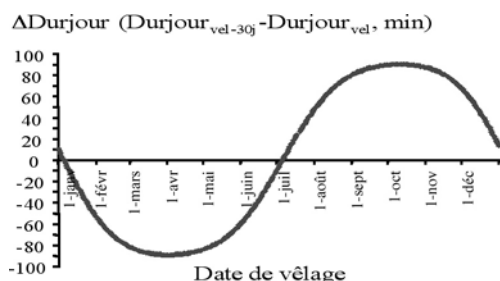
Le processus biologique par lequel la date de vêlage joue sur l'anoestrus *post-partum* n'est pas établi. Deux hypothèses principales sont avancées pour tenter d'expliquer cette relation. La première est nutritionnelle, toutefois, dans la mesure où l'effet s'observe sur les vaches bien nourries, cette hypothèse n'est pas privilégiée. La seconde privilégie l'influence de la photopériode sur la reprise de l'activité ovarienne *post-partum* (Peters et Riley, 1982b ; Hansen et Hauser, 1983).

## 2.2. MISE EN EVIDENCE ET FORMALISATION DE L'INFLUENCE DE LA DUREE DU JOUR.

Si quelques travaux ont permis de mettre en évidence une telle corrélation négative entre la durée quotidienne d'éclaircissement et l'anoestrus *post-partum* (Garel *et al.*, 1987), peu ont abordé l'étude quantitative de la relation entre la durée de la période acyclique et la durée du jour. Peters et Riley (1982a) ont montré une corrélation négative hautement significative entre l'anoestrus *post-partum* et la photopériode un mois avant le vêlage.

Compte tenu de ces résultats et des connaissances acquises sur d'autres espèces (ovins) en matière d'influence de la photopériode sur la reproduction, nous avons choisi de traduire l'effet de la durée du jour sur l'IVCyc au travers de la variation de la photopériode au cours du mois précédant le vêlage ( $\Delta$ Durjour). La figure 3 illustre l'évolution de cette variable au cours de l'année.

**Figure 3** : évolution de la variation de la photopériode au cours du mois précédant le vêlage ( $\Delta$ Durjour).



### 2.2.1. Influence de l'évolution de la photopériode au cours du mois précédant le vêlage

Nous avons comparé la qualité de la prédiction obtenue par deux modèles statistiques linéaires comparables en tous termes à l'exception de la variable prédictive reflétant dans un cas la date calendaire de vêlage (modèle 2) et dans l'autre cas la variation de la durée du jour durant le mois précédant

le vêlage ( $\Delta$ Durjour, modèle 3). Ces deux modèles ont été comparés à un modèle de référence (modèle 1) de l'IVCyc qui prend en compte les principaux facteurs biologiques susceptibles de faire varier l'IVCyc chez la vache allaitante (Blanc *et al.*, 2002) : parité (multipares vs. primipares), état corporel au vêlage (haut si NEC > 2,5 ; bas sinon) et exposition au taureau (précoce si l'intervalle vêlage-taureau < 55 jours ; tardif sinon). La variable Condition de vêlage (notes de difficulté) a été retirée des modèles car non significative. La comparaison des modèles est réalisée sur la base du critère d'ajustement d'Akaike, le meilleur ajustement correspondant à la valeur la plus faible.

**Tableau 2** : comparaison de trois modèles de l'IVCyc et degré de signification des variables (données de Laqueuille : 8 expérimentations, n=262 données)

Modèles de l'IVCyc	1	2	3
Effets fixes	p	p	P
Parité (primipares vs. multipares)	<0,0001	<0,0001	<0,0001
NEC au vêlage (haut vs. bas)	0,053	0,08	0,06
Exposition au taureau (précoce vs. tardif)	<0,0001	0,02	0,02
NEC au vêlage x Exposition au taureau	0,18	0,55	0,70
Date de vêlage x saison de vêlage	X <sup>1</sup>	<0,0001	X
Date de vêlage x Parité	X	0,002	X
$\Delta$ Durjour	X	X	<0,0001
$\Delta$ Durjour x Parité	X	X	0,0003
<b>Critère d'ajustement du modèle d'Akaike</b>	<b>2169</b>	<b>2130</b>	<b>2134</b>

(1) Les cellules marquées de ce symbole correspondent aux effets non testés dans le modèle

Le tableau 2 présente en détail les résultats obtenus pour les jeux de données de Laqueuille. Les résultats sont similaires pour les données du Pin. Ils montrent la pertinence de la prise en compte de l'effet "date de vêlage" ou de l'effet "variation de la durée du jour" par rapport au modèle de référence. Les modèles 2 et 3 expliquant la même part de variabilité de l'IVCyc en dehors des effets Etat corporel et Exposition au taureau, l'hypothèse d'une superposition entre les effets Date de vêlage et  $\Delta$ Durjour est retenue.

### 2.2.2. Formalisation des effets des facteurs

La loi de réponse quantitative de l'IVCyc à la variation de la durée du jour ( $\Delta$ Durjour) est rapportée dans le tableau 3 en fonction de la parité et de l'interaction Parité x  $\Delta$ Durjour.

**Tableau 3** : quantification de l'effet de la variation de la durée du jour (min) sur IVCyc (jours). (8 expérimentations, n=262)

Effet	Parité	Estimé	p
Intercept		79,3	<0,0001
Parité	Multipares	-24,1	<0,0001
	Primipares	0	
$\Delta$ Durjour		0,40	<0,0001
$\Delta$ Durjour x Parité	Multipares	-0,31	0,0002
	Primipares	0	

L'interaction  $\Delta$ Durjour x Parité significative laisse apparaître un effet positif de 0,4 jour par minute de variation de photopériode pour les primipares ( $\pm 35$  jours au maximum) et un effet moindre pour les multipares (0,09 j/min,  $\pm 8$  jours max.). Une analyse du jeu de données bibliographiques (n=117 moyenne de lots) révèle le même effet linéaire positif de la durée du jour, mais de moindre amplitude ( $\pm 5$  jours max), ainsi que l'absence d'interaction significative avec la parité vraisemblablement du fait du faible nombre d'observations sur primipares :

$$\text{IVCyc (j)} = 81,3 + 0 \text{ (primipares)} + 0,06 \Delta \text{Durjour} - 18,1 \text{ (multipares)}$$

Le modèle complet de prédiction de l'IVCyc (modèle B) prend également en compte les effets de la note d'état corporel au vêlage (Necvel) et de l'exposition au taureau (Effet taureau). Faute de connaissances suffisantes sur d'éventuels processus interactifs entre ces deux effets et celui de la photopériode, nous avons considéré une structure additive :

$$\text{IVCyc} = I + \alpha \Delta \text{Durjour} + \beta \exp(\delta(5 - \text{necvel}) - \text{effet taureau})$$

où I et  $\alpha$  sont des constantes, paramètres du modèle dont les valeurs diffèrent selon la parité (tableau 3).

L'effet de l'état au vêlage décroît exponentiellement avec la note et est quasiment nul au-delà d'une note de 2,5/5 ( $\beta=11$  et  $\delta=0,5$ ), ce qui est cohérent avec les données bibliographiques (Blanc *et al.*, 2002).

L'effet taureau rend compte de l'interaction selon laquelle une exposition précoce au taureau diminue l'IVCyc de façon plus importante chez les vaches maigres que chez les vaches grasses (Stumpf *et al.*, 1992). Cet effet taureau a été formalisé et ajusté sur la base des résultats décrits dans la bibliographie (Blanc *et al.*, 2002) et de notre expertise :

$$\text{Effet taureau} = 16 / (1 + 1300 \exp(-2,9 \times (5 - \text{Necvel})))$$

Il se soustrait à l'IVCyc pour les vaches exposées au taureau dans les 55 jours suivant le vêlage.

### 2.2.3. Evaluation de la qualité de la prédiction

Le modèle B a été ajusté sur le jeu de données des primipares de Laqueuille et validé (validation externe) sur les données des primipares du Pin, à l'exception du paramètre I (ordonnée à l'origine du modèle) qui est dépendant du jeu de données et que nous avons réestimé.

Les prédictions des deux versions du modèle (A et B) ont ensuite été comparées (tableau 4).

La nouvelle version du modèle intégrant l'effet de la photopériode (modèle B) permet de réduire la dispersion des résidus (MSD) et de supprimer le biais de translation (SB) observé avec le modèle A. Les deux versions du modèle donnent des résultats équivalents pour le biais de rotation (NU), les pentes des droites de régression entre valeurs observées et prédites étant identiques et égales à 0,86.

**Tableau 4** : évaluation de la qualité de prédiction des deux versions du modèle de prédiction de l'IVCyc réalisée sur la base du jeu de données des primipares du Pin (n=188).

	Modèle A (Blanc <i>et al.</i> , 2002)	Modèle B
MSD	397	337
SB	80,7	0,8
NU	6,1	6,0

### 3. DISCUSSION - PERSPECTIVES

Cette étude a été engagée afin de répondre à une question ayant émergé au cours de notre démarche de modélisation. Elle reprend une question abordée dans la bibliographie il y a plus d'une vingtaine d'années et tente d'en apporter une explication en cohérence avec le fonctionnement biologique de l'animal. Nous avons ainsi renforcé l'idée que l'influence de la date de vêlage sur la reprise de cyclicité *post-partum* rend compte d'une sensibilité de la fonction ovarienne à la photopériode chez la vache allaitante. L'intégration de cet effet dans le modèle de prédiction de l'IVCyc permet d'améliorer la qualité de la prédiction mais une large part de la variabilité (plus de 50 %) se retrouve encore dans les résidus. Celle-ci peut s'expliquer par des facteurs que nous n'avons pas pris en compte tels que le génotype ou encore l'état sanitaire des vaches après vêlage, notamment l'état utérin, ainsi que les modalités de logement (stabulation libre vs. entravée). Le modèle devra également être validé avec des données correspondant à des vêlages d'automne.

*Tous nos remerciements au personnel des UE du Pin et de Laqueuille pour la manipulation des animaux et le suivi des protocoles.*

- Agabriel J., Grenet N., Petit M. 1992.** INRA Prod. Anim., 5, 355-369  
**Agabriel J., Blanc F., Egal D., D'hour P. 2004.** Renc. Rech. Rum., 11, 398  
**Bellows R.A., Short R.E. 1978.** J. Anim. Sci., 46, 1522-1528  
**Blanc F., Blanc J., Dozias D., Agabriel J. 2002.** Renc. Rech. Rum., 9, 65-68  
**Dozias D., Agabriel J., Peccatte J.R., Petit M. 2006.** Journées nationales GTV, 145-154  
**Gaugh H.G., Gene Hwang J.T., Fick G.W. 2003.** Agron. J., 95, 1442-1446  
**Garel J.P., Gauthier D., Petit M., Thimonier J. 1987.** Repr. Nut. Dév. 27, 305-306  
**Hansen P.J., Hauser E.R. 1983.** J. Anim. Sci., 56 : 1362-1369  
**Hauser E.R. 1984.** Theriogenology, 21, 150-168  
**Ingrand S., Dedieu B., Agabriel J., Perochon L. 2002.** Renc. Rech. Rum., 9, 61-64  
**King G.J., Macleod G.K. 1984.** Anim. Reprod. Sci., 6, 255-266  
**Knight T.W., Nicoll G.B. 1978.** Proc. N.Z. Soc. Anim. Prod., 38, 175-180  
**Laster D.B., Glimp H.A., Gregory K.E. 1973.** J. Anim. Sci., 36, 734-740  
**MacGregor R.G., Casey N.H. 1999.** Liv. Prod. Sci., 57, 181-191  
**Montgomery G.W., Davis G.H., Hurrell G.A. 1980.** Proc. N.Z. Soc. Anim. Prod., 40, 280-284  
**Montgomery G.W., Scott I.C., Hudson N. 1985.** J. Reprod. Fert., 73, 45-50  
**Morris S.T., Pleasants A.B., Barton R.A. 1978.** N.Z. J. Agr. Res., 21, 577-582  
**Morris C.A. 1984.** Anim. Prod., 39, 51-57  
**Osoro K., Wright I.A. 1992.** J. Anim. Sci., 70, 1661-1666  
**Peters A.R., Riley G.M. 1982a.** Anim. Prod., 34, 145-153  
**Peters A.R., Riley G.M. 1982b.** Br. Vet. J., 138, 533-537  
**Pleasants A.B., McCall D.G. 1993.** Anim. Prod., 56, 187-192  
**Smeaton D.C., McCall D.G., Clayton J.B., Dow B.W. 1986.** Proc. N.Z. Soc. Anim. Prod., 46, 149-152  
**Stumpf T.T., Wolfe M.W., Wolfe P.L., Day M.L., Kittok R.J., Kinder J.E. 1992.** J. Anim. Sci., 70, 3133-3137