

Modélisation de l'efficacité de la reproduction chez la vache allaitante. Effet de la date d'introduction du taureau et de l'état d'engraissement au vêlage sur l'intervalle vêlage-saillie fécondante.

F. BLANC (1), J. BLANC (2), D. DOZIAS (3), J. AGABRIEL (2)

(1) UMR Elevage des Ruminants en Régions Chaudes, ENSAM-INRA, 2 Place Viala 34060 Montpellier Cedex

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

(3) Domaine expérimental animal du Pin, 61310 Le Pin-au-Haras

RESUME – A l'échelle d'un troupeau bovin allaitant, la réussite de la reproduction est classiquement évaluée par la proportion de vaches pleines, ainsi que par les intervalles vêlage-premier oestrus, vêlage-saillie fécondante et vêlage-vêlage. La durée de ces intervalles dépend entre autres, de facteurs liés à la conduite d'élevage tels que le mode d'allaitement ou la date de mise en présence du taureau ainsi que de facteurs liés à la vache tels que sa parité ou son état d'engraissement. L'objet de cette étude est de quantifier ces influences et de formaliser leurs effets sur l'intervalle vêlage-saillie fécondante (IVSF). Le modèle développé vise à rendre compte de la dispersion de l'IVSF de troupeaux de Charolaises primipares et/ou multipares sous l'influence de deux variables majeures : la date d'entrée et de sortie du taureau et l'état d'engraissement des vaches au moment du vêlage. Le modèle est construit sur la base d'une décomposition événementielle qui simule les étapes clés associées à la reproduction : vêlage, anoestrus post-partum, reprise de la cyclicité, fécondation. L'intervalle vêlage-mise au taureau et l'état d'engraissement de la vache au vêlage influent sur la durée de l'anoestrus post-partum. La probabilité de fécondation à chaque saillie varie selon le numéro de l'oestrus associé. Ce modèle est centré sur l'animal, et les individus diffèrent par leur parité, leur date de vêlage et leur état d'engraissement au vêlage. La performance du troupeau est reconstituée à partir d'un jeu de 100 simulations individuelles, pour des dates d'entrée et de sortie du taureau fixées initialement. Le modèle a été ajusté sur des données obtenues sur des vaches charolaises primipares (n=193) et multipares (n=204) du domaine du Pin au Haras. Les sorties du modèle ont été comparées à des observations indépendantes de vaches primipares du domaine de Laqueuille. Les IVSF prédits surestiment jusqu'à 10 jours les IVSF observés. Par ailleurs, concernant les intervalles vêlage-première ovulation, le modèle rend mal compte de la dispersion interindividuelle observée au sein du troupeau. Des efforts devront donc être développés afin d'améliorer les lois de prédiction du modèle.

A model of reproductive efficiency in beef cows : effect of bull exposure and body condition at calving on the calving-conception interval.

F. BLANC (1), J. BLANC (2), D. DOZIAS (3), J. AGABRIEL (2)

(1) UMR Elevage des Ruminants en Régions Chaudes, ENSAM-INRA, 2 Place Viala 34060 Montpellier Cedex

SUMMARY – The efficiency of reproduction in a beef cattle herd is usually assessed by the percentage of pregnant cows, the post-calving anoestrus interval, the calving-conception interval and the calving interval. The length of these intervals is influenced by breeding management factors such as suckling intensity or bull exposure and by animal factors such as parity or body condition. The objective of this study was to quantify these effects and to formalise the interactions between some of the animal and breeding factors and to simulate their influences on the calving-conception interval. Two factors were taken into account in the model : the exposure to bull and the body condition score at calving. The model simulated the reproductive process in a herd where the individual cow was the unit being modelled. The reproductive process was viewed as a sequence of events (parturition, ovulation, conception), each of which taking a defined duration. With respect to reproduction, a cow could be in one of three possible states: open-not-cycling, open-cycling or pregnant. At the end of each reproductive event, factors following statistical distributions or empirical laws might change the status of the cow. Cows differed from each other by parity, calving date and body condition at calving. The parameters of the model were evaluated by fitting the model to data from primiparous (n=193) and multiparous (n=204) Charolaises cows bred at the experimental station of Le Pin au Haras. The model's ability to simulate the calving-conception interval and its dispersion was tested using an independent set of data of primiparous Charolaises cows reared at the experimental station of Laqueuille. The mean predicted calving-conception intervals were often overestimated (from 3 to 10 days) and predictions about post-calving anoestrus interval did not account for the observed dispersion between individuals. Further investigations are needed to improve the model.

1. CONTEXTE ET PRESENTATION DE LA DEMARCHE

La maîtrise de la production bovine allaitante fait aujourd'hui appel à des outils susceptibles de guider l'éleveur dans ses décisions en l'aidant à évaluer les effets associés à des changements de conduite. Un simulateur de fonctionnement de troupeau est développé dans cet objectif (Ingrand *et al* 2002). Celui-ci reconstitue la performance du troupeau (production, reproduction) en tenant compte de la variabilité des performances des individus qui le composent lorsqu'ils sont soumis à différentes conduites.

Notre travail se positionne dans ce cadre et vise à développer le sous-modèle d'élaboration de la performance de reproduction des troupeaux. Nous considérons que la reproduction est conduite en monte naturelle, ce qui correspond environ à près de 90 % des cas des troupeaux allaitants français. Dans ce contexte, une décision majeure de l'éleveur concerne la date d'introduction du taureau dans le groupe et sa date de sortie.

L'objectif de notre démarche de modélisation est de simuler, les différentes étapes d'élaboration de la performance de reproduction chez la vache allaitante sur la base de la description événementielle proposée par Oltenacu *et al* (1980). Dans cette approche, le processus de reproduction est appréhendé, pour chaque femelle, comme une séquence d'événements (mise-bas, reprise de cyclicité, saillie fécondante) qui conditionnent le passage d'un état reproductif à un autre (acyclique / cyclique / gestante). Les variables de sortie du modèle sont des indicateurs d'évaluation de la performance à l'échelle du troupeau : intervalles vêlage-première ovulation, vêlage-premier oestrus, vêlage-saillie fécondante, vêlage-vêlage, taux de vaches vides (échecs à la conception et avortements). Les transitions d'un état reproductif à un autre obéissent à des lois de réponse dont l'expression et/ou les paramètres peuvent être influencés par des variables de contrôle liées à l'animal lui-même (race, parité, état nutritionnel) ou à son mode de conduite (niveau alimentaire, mode d'allaitement). Ces effets sont quantifiés dans la première partie de ce texte et servent de base aux hypothèses fortes du modèle.

Le modèle proposé a pour objet de simuler l'IVSF et sa dispersion à l'échelle du troupeau, sous l'influence de deux variables, l'une décisionnelle : la date d'entrée et de sortie du taureau, l'autre biologique : l'état d'engraissement des vaches au moment du vêlage.

2. QUANTIFICATION DES FACTEURS D'INFLUENCE DE L'ANOESTRUS POST-PARTUM

L'apparition de la cyclicité est influencée par plusieurs facteurs (allaitement, nutrition, saison, parité, condition de mise bas) dont les effets sont décrits dans la bibliographie le plus souvent sous un angle qualitatif (Yavas et Walton, 2000). Une revue bibliographique (Blanc, 2002), élaborée sur une base de 47 publications rapportant environ 80 performances de groupes, nous a permis de quantifier les effets moyens de ces facteurs en les considérant indépendamment les uns des autres.

La durée de l'anoestrus d'une vache multipare ayant une note d'état corporel au vêlage de 2,5 (note sur 5) est en moyenne de 64 ± 22 j ; elle s'accroît de 10 jours pour les primipares. Elle varie linéairement de - 19 jours par point de note dans la gamme de notes comprise entre 1,5 et 3,0. Bien que suggérée par certains auteurs, l'interaction état corporel au vêlage x parité n'a pas pu être quantifiée en raison du nombre trop faible de données. Le niveau alimentaire post-partum influe également sur l'anoestrus. Ainsi, un niveau alimentaire supérieur à 110 % des besoins énergétiques réduit en moyenne l'anoestrus de 7 jours alors qu'un niveau inférieur à 90 % des besoins l'accroît de près de 6 jours. Une tétée libre (veau en présence permanente de la mère) a un effet négatif de près de

25 jours par rapport à une tétée limitée, mais avec une forte dispersion des performances. La présence du taureau accélère la reprise de cyclicité post-partum lorsque celui-ci est présent dès la mise bas : -16 ± 4 j par rapport à une absence de taureau. Selon certains auteurs la présence du taureau post-partum interagit avec l'état corporel au vêlage sur la durée de l'anoestrus : l'arrivée précoce du taureau s'accompagne d'une réduction de l'anoestrus post-partum plus importante chez les vaches en mauvais état corporel au vêlage que chez les vaches en bon état (Stumpf *et al*, 1992 ; Madrigal *et al*, 2001). L'effet saison n'a pas pu être quantifié en raison de la trop grande hétérogénéité des données bibliographiques.

Dans notre approche, qui se veut prédictive, nous avons choisi de formaliser les effets de la note d'état corporel au vêlage et de la présence du taureau sur la durée de l'anoestrus post-partum. Malgré son importance, nous n'avons pas retenu l'effet du mode d'allaitement car les systèmes d'élevage étudiés pratiquent tous la tétée libre.

3. DESCRIPTION DU MODELE

Notre modèle est centré sur l'individu. Il simule l'évolution au cours du temps des états reproductifs de la vache depuis la mise bas jusqu'à la saillie fécondante (figure 1). Le pas de temps considéré est le jour et la performance moyenne du troupeau est reconstituée à partir des résultats d'un jeu de simulations, chaque simulation représentant la trajectoire d'une vache. Dans ce modèle, les individus se distinguent par leur date de vêlage et leur note d'état au vêlage.

- La date de vêlage (DATVEL) est prédite par un modèle logistique dont les paramètres (α et μ) ont été ajustés sur la courbe d'évolution du pourcentage cumulé de vaches ayant mis bas au cours du temps (t).

$$DATVEL = \frac{\alpha}{\alpha + (100 - \alpha) \exp(-\mu t)}$$

- La date de première ovulation signe le passage de l'état acyclique à l'état cyclique. L'intervalle vêlage-première ovulation (IVELIO) dépend de la note d'état au vêlage (NECVEL) et de la présence du taureau selon une loi de réponse qui rend compte de l'interaction entre ces deux variables que nous avons relevée dans la bibliographie :

$$IVELIO = \frac{a \exp(c(5 - NECVEL))}{\exp(-b \text{TOROVEL})}$$

a b et c sont des paramètres qui diffèrent selon la parité ; TOROVEL est l'intervalle vêlage-mise en présence du taureau.

La reprise de cyclicité étant réalisée, les cycles œstriens s'enchaînent et leur durée est fixée à 21 ± 1 j (Pleasant, 1997). Par souci de simplification, le modèle considère que toutes les ovulations sont associées à un oestrus (figure 1).

- La date d'entrée du taureau dans le troupeau est fixée en début de simulation.

- La date de saillie fécondante détermine le début de la gestation.

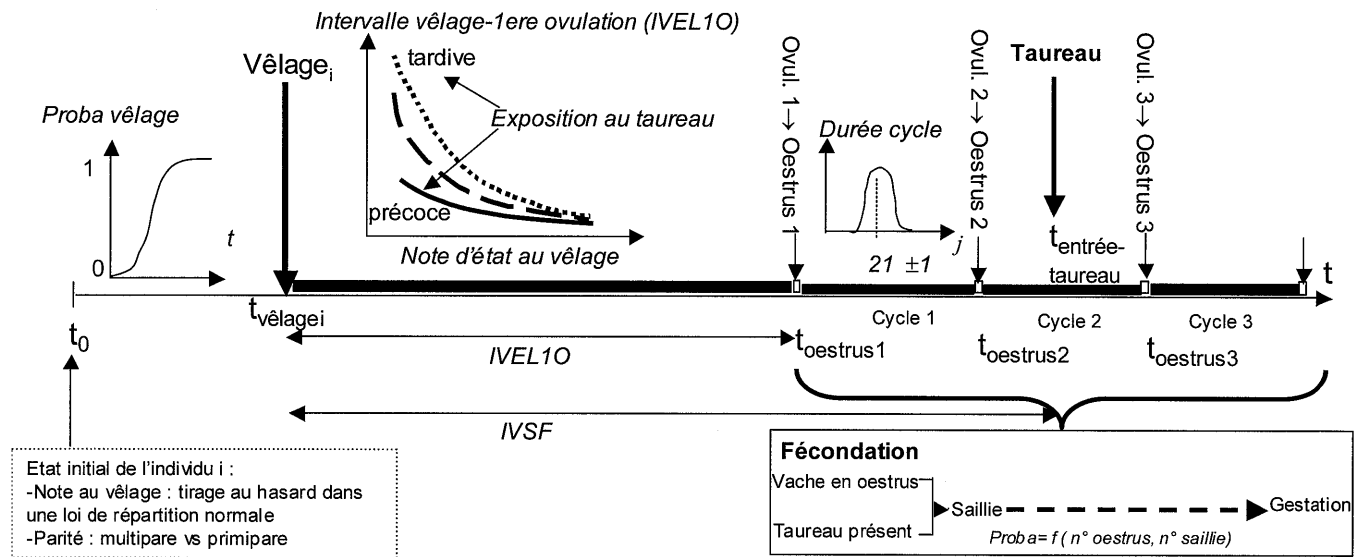
Le modèle considère que tous les oestrus sont détectés par le taureau, mais que la saillie n'est pas toujours fécondante : la probabilité de fécondation varie selon le numéro de la saillie et le numéro de l'oestrus qui lui est associé. Le modèle ne prend pas en compte d'effet de la parité, de l'état nutritionnel ni des conditions de vêlage sur la probabilité de fécondation.

4. DONNEES EXPERIMENTALES

Au cours de 8 et 6 années successives, les performances de reproduction des cohortes de vaches Charolaises ont été suivies régulièrement aux domaines INRA du Pin au Haras (1994-2001) et de Laqueuille (1991-1997). Les vaches ayant subi une césarienne ont été retirées du jeu de données. Au total

Figure 1

Schéma conceptuel du modèle d'élaboration de l'intervalle vêlage –saillie fécondante chez la vache allaitante



nous disposions de 190 reproductions de primipares et 260 de multipares du Pin et de 120 primipares de Laqueuille. Les vêlages se déroulaient en hiver, respectivement centrés sur les 29 janvier, 3 mars et 8 janvier. Les vaches ont été conduites avec des niveaux d'apports énergétiques différenciés (Grenet *et al.*, 1996). Dans les deux sites expérimentaux les veaux ont tété librement leur mère.

Poids et notes d'état ont été mesurés respectivement tous les 15 jours et tous les mois. Les vaches pesaient en moyenne au vêlage : 640 ± 71 kg (primipares Le Pin), 665 ± 76 kg (multipares Le Pin) et 659 ± 58 kg (primipares Laqueuille), pour un état corporel respectif de $2,4 \pm 0,5$, $2,2 \pm 0,7$ et $2,4 \pm 0,6$. Les reprises de cyclicité ont été suivies par dosage de la progestérone plasmatique à partir de prises de sang effectuées tous les 10 jours à compter du 30ème jour après la mise bas. Les taureaux ont été introduits au moment de la mise à l'herbe au Pin (11 avril) et dans les cases en stabulation à Laqueuille (16 mars). Ils étaient munis d'un licol marqueur et les saillies ont été enregistrées chaque jour. La date de saillie fécondante a été validée par échographie et si nécessaire à l'aide de la date du vêlage suivant.

5. DETERMINATION DES PARAMETRES

L'ajustement du modèle a été effectué sur les données du Pin. Les paramètres associés aux modèles de prédiction de DATVEL et IVEL10 sont reportés dans le tableau 1 et diffèrent selon la parité. L'ajustement de la loi d'évolution de DATVEL a été fait sur l'ensemble des données, tandis que seules les vaches non cycliques avant l'entrée du taureau ont été retenues pour ajuster le modèle de IVEL10 (multipares : $n=142$; primipares : $n=147$).

Tableau 1
Paramètres des lois de prédictions de DATVEL et IVEL10 et qualité d'ajustement (proportion de variance expliquée)

		Valeurs des paramètres	% variance expliquée
DATVEL	Multipares	$\alpha = 3,06$; $\mu = 0,06$	98 %
	Primipares	$\alpha = 11,56$; $\mu = 0,08$	99 %
IVEL10	Multipares	$a = 21,90$; $b = 0,012$ $c = 0,158$	61 %
	Primipares	$a = 40,85$; $b = 0,009$ $c = 0,074$	60 %

Les probabilités de fécondation associées aux différents cas de saillies possibles sont reportées dans le tableau 2. Elles varient selon le numéro de l'œstrus et le nombre de saillies déjà intervenues. Nous avons noté un accroissement régulier de la probabilité de fécondation au premier œstrus en fonction de IVEL10 mais nous ne l'avons pas retenu par souci de simplification.

Tableau 2 Probabilités de fécondation à la saillie

Numéro de l'œstrus	1	2	3	4
1ère saillie	0,53	0,77	0,75	(0.80)
2ème saillie		0,60	(0,65)	(0.70)
3ème saillie			0,56	(0.65)
4ème saillie				0,59

Les probabilités entre parenthèses ont été déterminées, soit avec un nombre très limité de données soit par extrapolation.

6. ETUDE DU COMPORTEMENT DU MODELE ET DISCUSSION

Une analyse de sensibilité (tableau 3) a été réalisée afin de caractériser les évolutions de IVEL10 et IVSF pour différentes distributions de notes d'état au vêlage et pour des modalités d'exposition au taureau plus ou moins tardives mais durables (taureau maintenu dans le troupeau).

L'effet prédit de la note d'état au vêlage sur l'IVSF (- 10 j par point de note) est comparable à celui observé.

En revanche, pour chaque classe de note au vêlage, le modèle surestime de 1 à 8 jours les IVEL10 et IVSF observés. Les dispersions interindividuelles relatives aux IVEL10 sont par ailleurs mal prédites puisqu'elles sont 2 à 5 fois plus faibles que celles observées. Un tel résultat s'explique dans la mesure où l'état corporel au vêlage n'est pas la seule source de variabilité de l'œstrus post-partum qui s'applique aux données observées. Le niveau alimentaire post-partum est notamment une source d'hétérogénéité non prise en compte par le modèle.

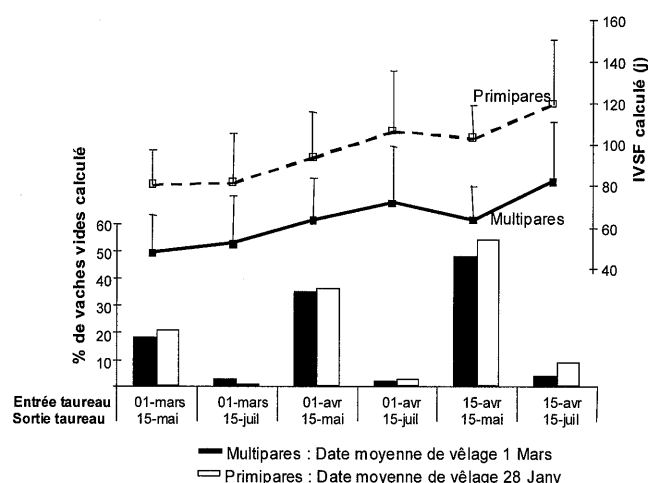
Tableau 3
Effet de la note d'état au vêlage et de l'exposition au taureau sur IVEL10 et IVSF. Les données observées sont celles des vaches multipares du Pin, en anoestrus au moment de l'entrée du taureau.

NECVEL	1,0 - 2,0	2,0 - 3,0	3,0 - 4,0
IVEL10 prédit (n=100)	69 ± 3	59 ± 3	50 ± 2
observé (n=128)	68 ± 20	54 ± 17	43 ± 20
IVSF prédit (n=100)	86 ± 20	76 ± 20	68 ± 25
observé (n=128)	82 ± 25	73 ± 26	60 ± 26
TOROVEL	30 j	50 j	70 j
IVEL10 prédit (n=100)	51 ± 4	66 ± 6	85 ± 8
observé (n=128)	46 ± 18	59 ± 12	76 ± 10
IVSF prédit (n=100)	68 ± 22	83 ± 22	103 ± 24
observé (n=128)	65 ± 31	73 ± 19	93 ± 26

Le modèle simule un effet exposition au taureau comparable à celui observé mais surestime de 5 à 9 jours les IVEL10 et de 3 à 10 jours les IVSF observés.

L'analyse du comportement du modèle a également porté sur la prédiction de IVEL10, IVSF et du taux de vaches vides pour des dates d'entrée et de sortie du taureau déterminées (figure 2). Quel que soit le scénario simulé, les IVSF des primipares sont en moyenne supérieurs de 33 jours à ceux des multipares.

Figure 2
Effet simulé de l'exposition au taureau sur l'IVSF et le pourcentage de vaches vides à l'issue de la période de reproduction (n=100 pour chaque modalité).



Une entrée du taureau tardive se traduit par un accroissement des IVEL10 (effet taureau sur IVEL10) qui se répercute en partie sur les IVSF. La date de sortie du taureau influe à la fois sur les IVSF et sur le taux de vaches vides. Lorsque le taureau est introduit tardivement (15 avril), la reprise de la cyclicité post-partum est retardée et de ce fait, les vaches ont statistiquement moins de chances d'être fécondées si le taureau est retiré précocement. Si le taureau est maintenu suffisamment longtemps, davantage de vaches pourront être fécondées. Dans ce cas les IVSF sont en moyenne plus élevés mais le taux de vaches vides est réduit (<10%). Une présence du taureau

limitée à 30 jours s'accompagne d'un taux de vaches vides de 48 % pour les multipares et de 54 % pour les primipares. En revanche, une exposition au taureau égale à 3 mois permet d'obtenir des taux de gestation supérieurs à 90%.

Nous avons également testé l'aptitude du modèle à prédire l'IVSF du troupeau de vaches primipares de Laqueuille. Pour cela nous avons paramétré le modèle en considérant la répartition des notes au vêlage, la loi de distribution des vêlages et les dates moyennes d'entrée (16 mars) et de sortie (31 mai) du taureau observées sur le troupeau. Les autres paramètres et lois du modèle sont restés inchangés. L'IVEL10 prédit est en moyenne supérieur de 7 jours à celui observé sur l'ensemble des primipares, et de 2 jours à celui des vaches en anoestrus au moment de l'introduction du taureau. L'IVSF prédit surestime de 16 jours celui observé. La dispersion prédite par le modèle est inférieure à celle observée (écart type pour IVEL10 : 12 j vs 20 j ; pour IVSF : 19 j vs 24 j). Enfin, le taux de vaches vides estimé est de 8% tandis que le taux observé atteint 12%.

7. ANALYSE CRITIQUE DU MODELE

Ce modèle basé sur une décomposition événementielle des états reproductifs rend compte des effets de la note d'état au vêlage et de l'exposition au taureau sur les IVSF. Il permet également de reconstituer une grande partie de la variabilité interindividuelle observée sur les IVSF. En revanche, il surestime systématiquement les IVSF. Ce comportement a deux origines, d'une part une légère surestimation des IVEL10 et d'autre part, une sous-estimation des probabilités de fécondation associées aux premiers oestrus et saillies. Il sera donc nécessaire de mieux quantifier les probabilités de fécondation relatives à chaque saillie, ce qui impliquera la mise en place de suivis expérimentaux spécifiques car les données bibliographiques sont rares. Par ailleurs, il conviendra d'affiner la loi de prédiction de la durée d'anoestrus post-partum afin de rendre compte d'une reprise de cyclicité précoce chez des vaches qui sont mises en présence du taureau tardivement (reprise de cyclicité indépendante de l'effet taureau). Ce cas est observé chez 16 % des vaches du Pin. Enfin, avant de complexifier le modèle en intégrant les effets d'autres variables citées dans la partie 2, il conviendra d'identifier la part respective de l'entrée du taureau sur la reprise de cyclicité (effet taureau) et celle de la mise à l'herbe (effet flushing) pour les cas de conduite où ces deux événements sont synchrones.

Remerciements à J. Lassalas et au personnel des domaines du Pin et de Laqueuille pour la manipulation des animaux et le suivi des protocoles, et à H. Dubroeuq pour le dépouillement des données de cyclicité.

- Blanc J, 2002.** Mémoire d'ingénieur, ENITA Clermont-Ferrand
Grenet, N, Dozias, D., Billant, D., 1996. Renc. Rech. Rum., 3, 227-232.
Ingrand, S, Dedieu, B., Agabriel, J., Pérochon, L., 2002. Renc. Rech. Rum, 9
Madrigal M.A., Colin, J.N., Hallford, D.M., 2001. Vet Méx., 32, 87-92.
Oltenuacu, P.A., Milligan, R.A., Rounsaville, T.R., Foote, R.H., 1980. Agric. Systems, 5, 193-205.
Pleasant, A.B., 1997. Anim. Sci., 64, 413-421
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
Yavas, Y. et Walton, J.S., 2000. Theriogenology, 54, 25-55