



Cirad-Emtv  
Programme  
« Productions Animales »

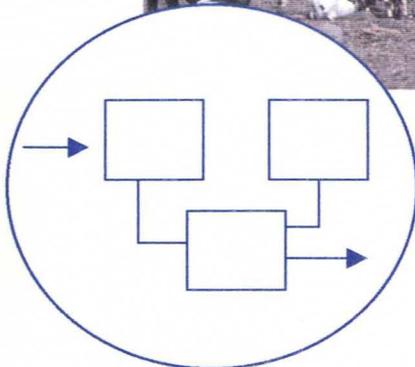
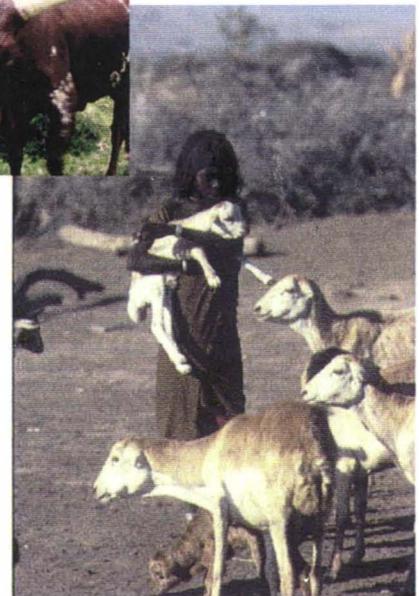


Institut National  
Recherche Agronomique  
Unités de Recherches  
sur les Herbivores

**DOUBLE**

# MODELISATION DU FONCTIONNEMENT DES TROUPEAUX

Edition scientifique : B. Faye (Cirad-Emtv)  
et S. Ingrand (Inra-Theix)



Compte rendu du Séminaire INRA-CIRAD à Montpellier  
Les 31 janvier et 1<sup>er</sup> février 2001

**CIRAD-Dist**  
UNITÉ BIBLIOTHÈQUE  
Baillarguet

# Modèle démographique du fonctionnement d'un troupeau bovin prenant en compte l'état corporel des femelles

Ezanno P.

Cirad-EMVT, TA 30/A, Campus international de Baillarguet  
Montpellier, France  
Adresse email : ezanno@cirad.fr

## Introduction

En milieu tropical, l'élevage bovin villageois est soumis à de fortes contraintes. Dans notre zone d'étude, située dans le sud du Sénégal (Kolda, Moyenne-Casamance), le disponible alimentaire est inférieur aux besoins des animaux plus de la moitié de l'année (Ickowicz *et al.*, 1998). De plus, cette région est une zone de trypanosomose, ce qui limite les races mises en production (Dwinger *et al.*, 1992). Les problèmes sanitaires sont aussi nombreux avec en particulier une forte pression parasitaire et des épisodes épidémiques (Ndao *et al.*, 1995 ; Itty *et al.*, 1997 ; Zinsstag *et al.*, 1997). Enfin, les éleveurs ont un objectif double de production de lait et de veaux (Godet *et al.*, 1981). Ils ne sélectionnent pas les femelles mises à la reproduction, les bovins étant considérés comme un « capital-épargne » (Sonko, 1986) et les mâles étant présents toute l'année dans le troupeau. Par ailleurs, la complémentation est une pratique peu courante. Tout ceci conduit à une fertilité faible avec des intervalles entre mises bas longs, ce qui limite la productivité des troupeaux (Abdalla *et al.*, 1999 ; Alejandrino *et al.*, 1999).

L'objectif de notre étude est d'étudier les variations de la productivité des troupeaux en fonction d'un ou de plusieurs indicateurs. Nous cherchons pour cela à développer un modèle permettant de quantifier les facteurs de variation de la productivité des troupeaux et de déterminer l'effet sur cette productivité d'actions ciblées du type complémentation, regroupement des naissances, ... En particulier, nous nous sommes basés sur les modèles démographiques matriciels déterministes (Leslie, 1945). En élevage, ces modèles ont été utilisés pour mettre en relation les paramètres de fertilité, de mortalité naturelle et d'exploitation des troupeaux avec des indices de productivité (Baptist, 1992). Ils permettent ainsi par exemple d'évaluer l'effet d'actions vétérinaires sur la productivité du troupeau (Lesnoff *et al.*, 2000).

## Le modèle démographique matriciel conventionnel (Leslie, 1945)

Prenons l'exemple d'un modèle représentant une population de femelles décomposée en 5 classes d'âge (0-1 an, 1-2 ans, 2-3 ans, 3-4 ans et plus de 4 ans), les femelles se reproduisant après l'âge de 3 ans. Les effectifs ( $x$ ) au temps  $t + 1$  année dépendent des effectifs au temps  $t$  suivant les équations de récurrence suivantes :

$$X_{0-1\text{an}}(t+1) = f_{3-4\text{ans}} X_{3-4\text{ans}}(t) + f_{>4\text{ans}} X_{>4\text{ans}}(t)$$

$$X_{1-2\text{ans}}(t+1) = S_{0-1\text{an}} X_{0-1\text{an}}(t)$$

$$X_{2-3\text{ans}}(t+1) = S_{1-2\text{ans}} X_{1-2\text{ans}}(t)$$

$$X_{3-4\text{ans}}(t+1) = S_{2-3\text{ans}} X_{2-3\text{ans}}(t)$$

$$X_{>4\text{ans}}(t+1) = S_{3-4\text{ans}} X_{3-4\text{ans}}(t) + S_{>4\text{ans}} X_{>4\text{ans}}(t)$$

avec  $f_i$  et  $s_i$  la fertilité et la survie annuelles moyennes de la classe d'âge  $i$  dans le troupeau, respectivement. La survie prend en compte à la fois la mortalité naturelle, l'exploitation et l'importation d'animaux. Sous forme matricielle, le modèle devient :

$$x(t+1) = A x(t)$$

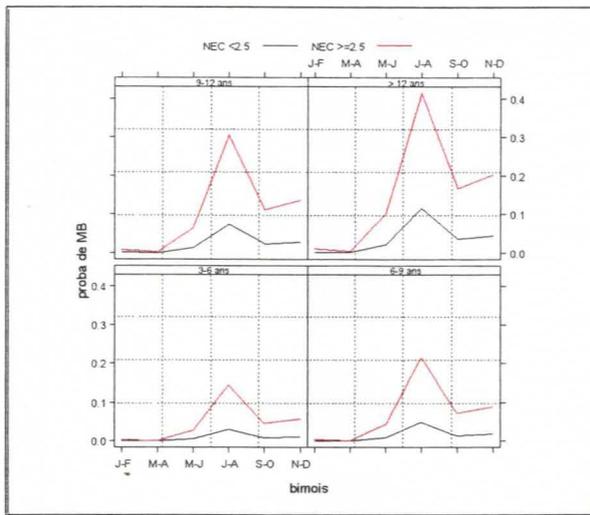
$$\begin{bmatrix} x_{0-1 \text{ an}}(t+1) \\ x_{1-2 \text{ ans}}(t+1) \\ x_{2-3 \text{ ans}}(t+1) \\ x_{3-4 \text{ ans}}(t+1) \\ x_{>4 \text{ ans}}(t+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & f_{3-4 \text{ ans}} & f_{>4 \text{ ans}} \\ s_{0-1 \text{ an}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & s_{1-2 \text{ ans}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & s_{2-3 \text{ ans}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & s_{3-4 \text{ ans}} & s_{>4 \text{ ans}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{0-1 \text{ an}}(t) \\ x_{1-2 \text{ ans}}(t) \\ x_{2-3 \text{ ans}}(t) \\ x_{3-4 \text{ ans}}(t) \\ x_{>4 \text{ ans}}(t) \end{bmatrix}$$

Pour un temps suffisamment long, le modèle converge vers un état stable :  $x(t+1) \cong \lambda x(t)$ . Le taux de multiplication asymptotique annuel  $\lambda$  de la population correspond à la valeur propre dominante de la matrice de passage annuelle  $A$ . Sa valeur dépend des paramètres du modèle, soit ici la mortalité et la fertilité.

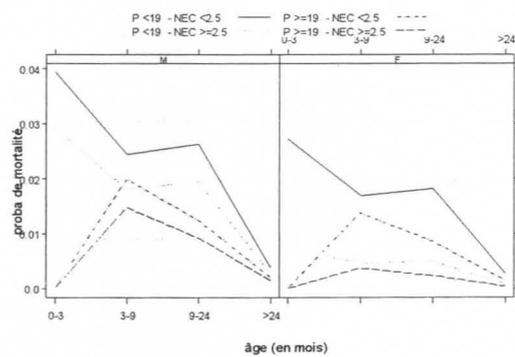
### Pourquoi intégrer la note d'état corporel (NEC) des femelles au modèle ?

En milieu tropical, le disponible alimentaire est une contrainte importante de la productivité des troupeaux (Pagot, 1958). Il est par ailleurs difficile de connaître exactement l'alimentation des bovins en milieu villageois, surtout quand ils sont en stabulation libre. La NEC est un indicateur indirect de la disponibilité alimentaire et de son utilisation par les animaux (Agabriel *et al.*, 1986; Petit et Agabriel, 1993). De plus, de nombreux auteurs mettent en relation la NEC ou ses variations et les performances des femelles, aussi bien en élevage laitier qu'allaitant. Ainsi, Pedron *et al.* (1993), Domecq *et al.* (1997) et VanAmburgh *et al.* (1998) montrent l'influence de la NEC sur la production laitière en milieu tempéré ; Sasser *et al.* (1988), Selk *et al.* (1988), Houghton *et al.* (1990), Honhold *et al.* (1992), Osoro and Wright (1992), Spitzer *et al.* (1995), Domecq *et al.* (1997a), Lalman *et al.* (1997), Loeffler *et al.* (1999), Morrison *et al.* (1999), Sinclair *et al.* (1999) et Vargas *et al.* (1999) relient la fertilité et les intervalles entre mises bas avec la NEC ; DeRouen *et al.* (1994) et Simpson *et al.* (1998) la relient à la puberté des génisses ; enfin, Apple (1999a, b and c) la relient à la production de viande.

Dans nos données, nous trouvons des résultats similaires, la NEC à la mise bas influant sur la fertilité des multipares (figure 1) et la mortalité des juvéniles (figure 2). Ainsi, plus la NEC est élevée, plus la fertilité est élevée et plus la mortalité est faible.



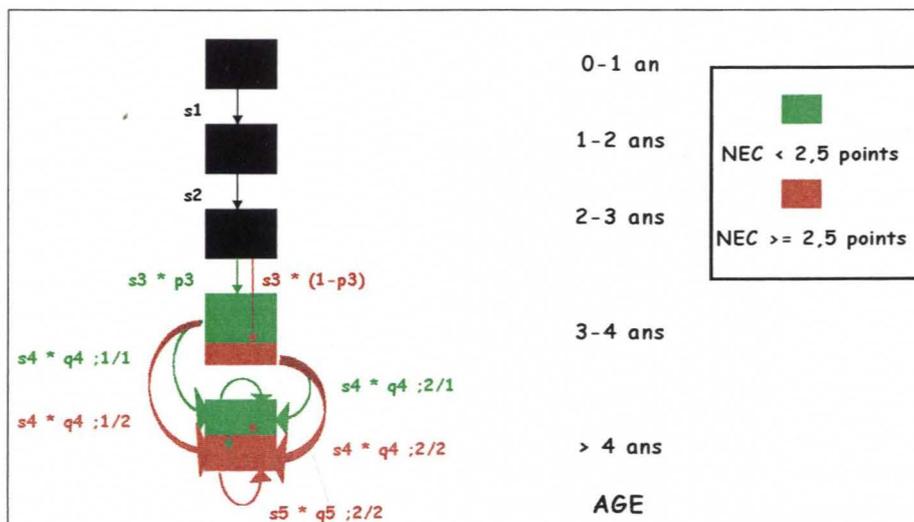
**Figure 1 :** Variation de la probabilité de mise bas des multipares en fonction de l'âge, de la saison et de la NEC à la mise bas.



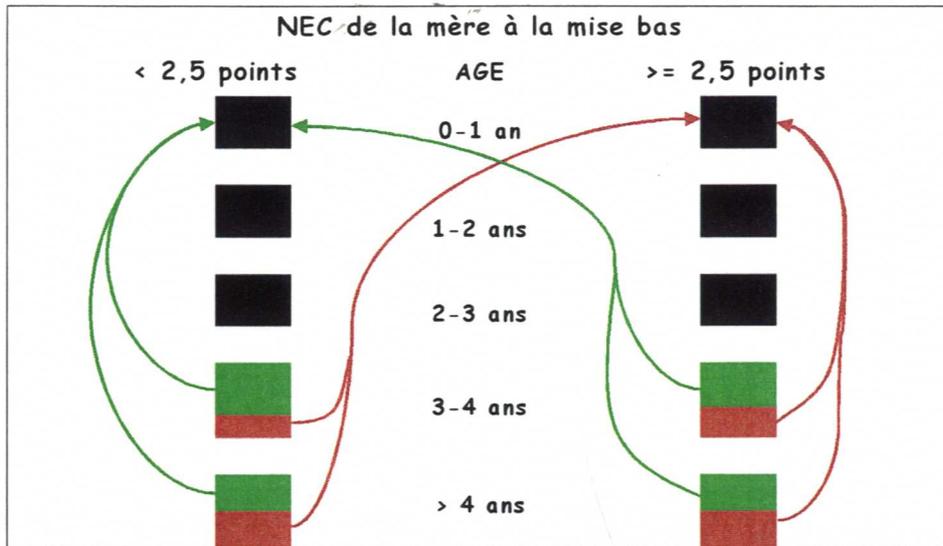
**Figure 2 :** Variation de la mortalité en fonction de l'âge, du poids à la naissance et de la NEC de la mère à la mise bas.

### Adaptation du modèle aux connaissances zootechniques

Pour intégrer la NEC dans les entrées du modèle démographique, nous avons regroupé les femelles selon leur état corporel au temps  $t$ . Les figures 3 et 4 illustrent, pour un modèle annuel à 5 classes d'âge, le passage entre les classes d'âge, compte tenu des classes de NEC des femelles au temps  $t-1$  et des NEC des mères à la naissance.



**Figure 3 :** Modèle par compartiment prenant en compte deux classes de NEC à  $t$ , sans représentation de la fertilité.



**Figure 4 :** modèle par compartiment prenant en compte deux classes de NEC à t, deux classes de NEC de la mère à la naissance, sans représentation de la survie.

Sous forme matricielle, le modèle s'écrit toujours  $x(t+1) = A x(t)$ , avec A de la forme :

	NEC mère < 2,5 points	NEC mère >= 2,5 points
$A =$	$\begin{matrix} 0 & 0 & 0 & s_{0-1}^A f^{3-4} & s_{0-1}^A f^{2-4} & 0 & 0 \\ s_{0-1}^A & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & s_{1-2}^A & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & s_{2-3}^A p_{3-4}^A & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & s_{3-4}^A q_{k1}^{3-4} & s_{3-4}^A q_{k1}^A & s_{3-4}^A q_{k1}^{2-4} & s_{3-4}^A q_{k1}^A \\ 0 & 0 & s_{2-3}^A (1-p_{3-4}^A) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & s_{3-4}^A (1-q_{k1}^{3-4}) & s_{3-4}^A (1-q_{k1}^A) & s_{3-4}^A (1-q_{k1}^{2-4}) & s_{3-4}^A (1-q_{k1}^A) \end{matrix}$	$\begin{matrix} 0 & 0 & 0 & s_{0-1}^A f^{3-4} & s_{0-1}^A f^{2-4} & 0 & 0 \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{matrix}$

avec s la probabilité de survie, f la fécondité, p la probabilité d'avoir une NEC inférieure à 2,5 points au temps t+1 et q la probabilité d'avoir une NEC inférieure à 2,5 points au temps t+1 sachant la NEC au temps t.

**Discussion**

L'intérêt du modèle que nous cherchons à développer est de permettre l'étude des variations de la productivité en fonction des variations du ou des indicateurs. Cependant, la valeur des NEC au temps t dépend des valeurs aux temps précédents. Or, le modèle de Leslie n'a mémoire que du pas de temps précédent. Nos données semblent indiquer que la corrélation entre NEC successives se limite à deux pas de temps (NEC<sub>t</sub> fonction de NEC<sub>t-1</sub> et NEC<sub>t-2</sub>) (tableau 1).

<b>NEC (t-1) &lt; 2,5</b>		
	NEC (t-2) < 2,5	NEC (t-2) >= 2,5
NEC (t) < 2,5	2481	553
NEC (t) >= 2,5	538	315
<b>NEC (t-1) &gt;= 2,5</b>		
	NEC (t-2) < 2,5	NEC (t-2) >= 2,5
NEC (t) < 2,5	283	608
NEC (t) >= 2,5	557	4768

Tableau 1 : Nombre de profils de NEC par catégorie sur deux pas de temps.

Le modèle pourrait ainsi être adapté pour pouvoir tenir compte de ce qui se passe en t-2. Une approche possible est d'utiliser les chaînes de Markov d'ordre 2. Le modèle ne représente alors plus les effectifs par classe d'âge pour les 2 catégories « NEC < 2.5 en t » et « NEC >= 2.5 en t », mais pour les 4 catégories « NEC < 2.5 en t-1 et NEC < 2.5 en t », « NEC < 2.5 en t-1 et NEC >= 2.5 en t », « NEC >= 2.5 en t-1 et NEC < 2.5 en t » et « NEC >= 2.5 en t-1 et NEC >= 2.5 en t ». La figure 5 illustre l'exemple précédent repris dans ce cas.

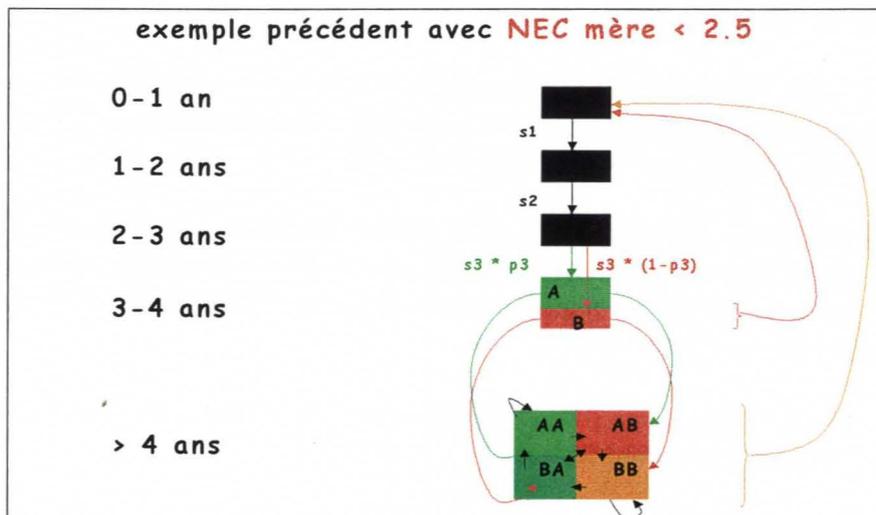


Figure 5 : Comment tenir compte de la liaison entre NEC successives : utilisation des chaînes de Markov d'ordre 2.

Une décomposition de ce type permet non seulement de mieux préciser l'évolution de la NEC des femelles entre deux pas de temps, mais aussi de relier les paramètres zootechniques soit à la valeur de l'indicateur au temps t, soit à ses valeurs successives. En effet, certains auteurs préconisent l'utilisation de la NEC à la mise bas comme indicateur de la fertilité des bovins (par exemple Selk *et al.*, 1988 ; Osoro and Wright, 1992 ; DeRouen *et al.*, 1994 ; Simpson *et al.*, 1998 ; Morrison *et al.*, 1999), tandis que d'autres estiment que la variation de NEC est un indicateur plus pertinent (par exemple Lalman *et al.* 1997; Loeffler *et al.* 1999). Avec un modèle tel que décrit plus haut, la fertilité peut soit dépendre de la NEC au temps t (une valeur pour les femelles des catégories AA et BA et une autre pour les femelles des catégories AB et BB), soit des NEC aux temps t et t-1 (des valeurs différentes pour chaque catégorie AA, AB, BA et BB).

## Conclusion

Inclure un ou plusieurs indicateurs aux entrées du modèle en plus des variables conventionnelles « classes d'âge » et « sexe » permet de mettre en relation la productivité (sortie du modèle) avec une variable facilement observable sur le terrain. Cependant, les données sur lesquelles nous nous basons pour construire notre modèle ont été relevées lors

d'un suivi qui n'était pas à vocation de modélisation. Nous ne pouvons donc pas nous appuyer sur des expérimentations adaptées permettant de connaître précisément la relation entre profils de NEC et performances ou encore l'influence d'une variation de la NEC - via une variation du disponible alimentaire par exemple - sur les paramètres de fertilité et de mortalité. Nous sommes donc dans le cas où les profils de NEC dépendent de facteurs non contrôlés (état physiologique des femelles, saison,...). Il faudrait donc également faire intervenir l'état physiologique des femelles (tarées, en gestation ou en lactation) dans le modèle. De la même manière que nous avons tenu compte de la NEC des femelles et de la NEC des mères à la mise bas, il serait intéressant de tenir compte de poids à âges types des femelles dans le modèle car ceux-ci influent aussi sur les performances (poids au sevrage et puberté ou poids à la naissance et mortalité par exemple).

### **Bibliographie**

- ABDALLA A.L., LOUVANDINI H., BUENO I.C.S., VITTI M.S.S., MEIRELLES C.F. and GENNARI S.M., 1999. "Constraints to milk production in grazing dairy cows in Brazil and management strategies for improving their productivity." *Preventive Veterinary Medicine* **38**: 217-230.
- AGABRIEL J., GIRAUD J.M., PETIT M., BARBOIRON C., COULAUD.G. and D.F., 1986. "Détermination et utilisation de la note d'état d'engraissement en élevage allaitant." *Bulletin Technique du CRZV Theix INRA* **66**: 43-50.
- ALEJANDRINO A.L., ASAAD C.O., MALABAYABAS B., DEVERA A.C., HERRERA M.S. DEOCARIS C., IGNACIO L.M. and PALO L.P., 1999. "Constraints on dairy cattle productivity at the smallholder level in the Philippines." *Preventive Veterinary Medicine* **38**: 167-178.
- APPLE J.K., 1999a. "Influence of body condition score on live and carcass value of cull beef cows." *Journal of Animal Science* **77**: 2610-2620.
- APPLE J.K., DAVIS J.C. and STEPHENSON J., 1999b. "Influence of body condition score on by-product yield and value from cull beef cows." *Journal of Animal Science* **77**: 2670-2679.
- APPLE J.K., DAVIS J.C., STEPHENSON J., HANKINS J.E., DAVIS J.R. and BEATY S.L., 1999c. "Influence of body condition score on carcass characteristics and subprimal yield from cull beef cows." *Journal of Animal Science* **77**: 2660-2669.
- BAPTIST R., 1992. "Derivation of steady-state herd productivity." *Agricultural Systems* **39**: 253-272.
- DEROUEN S.M., FRANKE D.E., MORRISON D.G., WIATT W.E., COOMBS D.F., WHITE T.W., HUMES P.E and GREENE B.B., 1994. "Prepartum body condition and weight influences on reproductive performance of first-calf beef cows." *Journal of Animal Science* **72**: 1119-1125.
- DOMECQ J.J., SKIDMORE A.L., LLOYD J.W. and KANEENE J.B., 1997a. "Relationship between body condition scores and milk yield in a large dairy herd of high yielding Holstein cows." *Journal of Dairy Science* **80**: 101-112.

- DOMECQ J.J., SKIDMORE A.L., LLOYD J.W. and KANEENE J.B., 1997b. "Relationship between body condition scores and conception at first artificial insemination in a large dairy herd of high yielding Holstein cows." *Journal of Dairy Science* **80**: 113-120.
- DWINGER R.H., CLIFFORD D.J., AGYEMANG K., GETTINBY G., GRIEVE A.S, KORA S. and BOJANG M.A., 1992. "Comparative studies on N'Dama and zebu cattle following repeated infections with *Trypanosoma congolense*." *Research in Veterinary Science* **52**: 292-298.
- GODET G., LANDAIS E., POIVEY J.P., AGABRIEL J. and MAWUDO W., 1981. "La traite et la production laitière dans les troupeaux villageois sédentaires au nord de la Côte d'Ivoire." *REMVT* **34(1)**: 63-71.
- HONHOLD N., HILL F.W.G, KNOTTENBELT D.C., PERRY B.D. and MORTON D., 1992. "Reproduction in female cattle in a communal farming area of Zimbabwe." *Tropical Animal Health and Production* **24**: 183-191.
- HOUGHTON P.L., LEMENAGER R.P., HORSTMAN L.A., HENDRIX K.S. and MOSS G.E., 1990. "Effects of body composition, pre- and postpartum energy level and early weaning on reproductive performance of beef cows and preweaning calf gain." *Journal of Animal Science* **68**: 1438-1446.
- ICKOWICZ A., USENGUMUREMYI J.C., RICHARD D., COLLEIE F. and DUPRESSOIR D., 1998. "Interactions entre jachère et systèmes d'alimentation de bovins : choix techniques et dynamique de développement (zone soudanienne, Sénégal)." *Actes de l'atelier : jachère et systèmes agraires.*, Niamey.
- ITTY P., ZINSSTAG J., ANKERS P., NJIE M. and PFISTER K., 1997. "Returns from strategic anthelmintic treatments in village cattle in the Gambia." *Preventive Veterinary Medicine* **32**: 299-310.
- LALMAN D.L., KEISLER D.H., WILLIAMS J.E., SCHOLLJEGERDES E.J. and MALLETT D.M., 1997. "Influence of postpartum weight and body condition change on duration of anestrus by undernourished suckled beef heifers." *Journal of Animal Science* **75**: 2003-2008.
- LESLIE P.H., 1945. "On the use of matrices in certain population mathematics." *Biometrika* **33**: 183-212.
- LESNOFF M., LANCELOT R., TILLARD E. and DOHOO I.R., 2000. "A steady-state approach of benefit-cost analysis with a periodic Leslie-matrix model : presentation and application to the evaluation of a sheep-diseases preventive scheme in Kolda, Senegal." *Preventive Veterinary Medicine* **46**: 113-128.
- LOEFFLER S.H., DEVRIES M.J. and SCHUKKEN Y.H., 1999. "The effects of time of disease occurrence, milk yield, and body condition on fertility of dairy cows." *Journal of Dairy Science* **82**: 2589-2604.

- MORRISON D.G., SPITZER J.C. and PERKINS J.L., 1999. "Influence of prepartum body condition score change on reproduction in multiparous beef cows calving in moderate body condition." *Journal of Animal Science* **77**: 1048-1054.
- NDAO M., PANDEY V.S., ZINSSTAG J. and PFISTER K., 1995. "Effect of a single dry season anthelmintic treatment of N'Dama cattle on communal pastures in the Gambia." *Veterinary Research Communications* **19**: 205-213.
- OSORO K. and WRIGHT I.A., 1992. "The effects of body condition, live weight, breed, age, calf performance, and calving date on reproductive performance of spring-calving beef cows." *Journal of Animal Science* **70**: 1661-1666.
- PAGOT J., 1958. "Influence en zone tropicale de l'amélioration des conditions d'entretien sur le rendement d'un troupeau de taurins." *REMYT* **11(2)**: 213-222.
- PEDRON O., CHELI F., SENATORE E., BAROLI D. and RIZZI R., 1993. "Effect of body condition score at calving on performance, some blood parameters, and milk fatty acid composition in dairy cows." *Journal of Dairy Science* **76**: 2528-2535.
- PETIT M. and AGABRIEL J., 1993. "Etat corporel des vaches allaitantes charolaises : signification, utilisations pratiques et relations avec la reproduction." *INRA prod. anim.* **6(5)**: 311-318.
- SASSER R.G., WILLIAMS R.J., BULL R.C., RUDER C.A. and FALK D.G., 1988. "Postpartum reproductive performance in crude protein-restricted beef cows : return to estrus and conception." *Journal of Animal Science* **66**: 3033-3039.
- SELK G.E., WETTEMANN R.P., LUSBY K.S., OLTJEN J.W., MOBLEY S.L., RASBY R.J. and GARMENDIA J.C., 1988. "Relationships among weight change, body condition and reproductive performance of range beef cows." *Journal of Animal Science* **66**: 3153-3159.
- SIMPSON R.B., CHASE C.C., HAMMOND J.A.C., WILLIAMS M.J. and OLSON T.A., 1998. "Average daily gain, blood metabolites, and body composition at first conception in Hereford, Senepol, and reciprocal crossbred heifers on two levels of winter nutrition and two summer grazing treatments." *Journal of Animal Science* **76**: 396-403.
- SINCLAIR K.D., MOLLE G., REVILLA R., ROCHE J.F., QUINTANS G., SANJUAN L., SANZ A., MACKEY D.R. and DISKIN M.G., 1999. "Effects of body condition at calving, post-partum nutrition and calf access on the interval from calving to first ovulation in beef cows : cow performance and metabolism. " *Proceedings of the British Society of Animal Science, Galway, British Society of Animal Science.*
- SONKO M.L., 1986. Contribution à l'analyse du fonctionnement des systèmes d'élevage en Basse-Casamance : étude monographique des modes d'appropriation et de gestion des ruminants dans le village de Boulador (région des Kalounayes). Méthodes pour la recherche sur les systèmes d'élevage en Afrique intertropicale. Actes de l'atelier ISRA. E. F. Landais, J. Mbour, Sénégal. **20**: 179-204.

- SPITZER J.C., MORRISON D.G., WETTEMAN R.P. and FAULKNER L.C., 1995. "Reproductive responses and calf birth and weaning weights as affected by body condition at parturition and postpartum weight gain in primiparous beef cows." *Journal of Animal Science* **73**: 1251-1257.
- VAN AMBURGH M.E., GALTON D.M., BAUMAN D.E., EVERETT R.W., FOX D.G., CHASE L.E. and ERB H.N., 1998. "Effects of three prepubertal body growth rates on performance of Holstein heifers during first lactation." *Journal of Dairy Science* **81**: 527-538.
- VARGAS C.A., OLSON T.A., CHASE C.C., HAMMOND J.A.C. and ELZO M.A., 1999. "Influence of frame size and body condition score on performance of Brahman cattle." *Journal of Animal Science* **77**: 3140-3149.
- ZINSSTAG J., ANKERS P., ITTY P., NJIE M., KAUFMANN J., PANDEY V. S. and PFISTER K., 1997. "Effect of strategic gastrointestinal nematode control on fertility and mortality on N'Dama cattle in the Gambia." *Veterinary parasitology* **73**: 105-117.