Cirad-emvt
Campus de Baillarguet
TA 30
34398 MONTPELLIER Cedex 5

Université Montpellier II
UFR Sciences
Place Eugène Bataillon
34095 MONTPELLIER Cedex 5

DIPLOME D'ETUDES SUPERIEURES SPECIALISEES
PRODUCTIONS ANIMALES EN REGIONS CHAUDES

RAPPORT DE STAGE

Prévalence de la tuberculose bovine et indicateurs de condition à l'échelle du troupeau chez le buffle africain (*Syncerus caffer*)

par

Alexandre CARON

année universitaire 2000-2001

RAPPORT DE STAGE

Prévalence de la tuberculose bovine et indicateurs de condition à l'échelle du troupeau chez le buffle africain (*Syncerus caffer*)

par
Alexandre Caron
220 rue du Fg St Antoine
75012 Paris
Tél : 01 43 71 89 12
anorac@caramail.com

REMERCIEMENTS

Premièrement, j²aimerais remercier mes collaborateurs, Johan du Toit (mon superviseur) et Paul Cross qui m'ont aidé à préparer, réaliser et finaliser ce rapport, sur le terrain et au bureau. J'aimerais ensuite remercier Justin Bowers, Craig Hay, Augusto Mabunda et Kitani Bulunga pour leur aide à collecter les données et pour m'avoir introduit aux dures lois du Kruger. Je remercie aussi le South African National Park pour m'avoir permis de conduire cette recherche et Markus Hofmeyr pour son assistance à résoudre les problèmes administratifs.

J'ai aussi apprécié les commentaires d'Elissa Cameron, Halszka Hrabar et Darcy Visscher sur ce manuscrit et bien sûr l'atmosphère du MRI qui nous a permis de travailler efficacement dans une ambiance joyeuse et détendue.

RESUME

La relation entre des indicateurs de condition choisis (ratio veaux/vaches, la structure des âges, la condition corporelle et la charge parasitaire dans les fèces) et la prévalence de la tuberculose bovine (BTB) a été investie, au niveau du troupeau, chez le buffle africain pour explorer l'impact de cette maladie contagieuse sur la population de buffles du Kruger National Park (KNP). Cette étude a été réalisée trois ans après la dernière étude sur le buffle du KNP, en utilisant une approche différente. Les analyses statistiques ont comparé les différentes régions du KNP (nord, centre et sud, avec une prévalence de BTB supérieure dans le sud et faible dans le nord) ainsi que certains troupeaux avec différentes prévalence de BTB (haute > 40 %; moyenne = 20-40 %; faible = 0-20 % et zéro = 0 % prévalence). La condition corporelle a décliné au cours de la saison sèche. Les buffles de la région sud du KNP, avec la plus forte prévalence de BTB, étaient en plus mauvaise condition corporelle à la fin de la saison sèche que ceux des autres régions. Qui plus est, la moyenne de la condition corporelle dans le sud a subit une plus forte diminution au cours de la saison sèche que dans les autres régions. Les troupeaux avec la plus forte prévalence de BTB étaient en plus mauvaise condition corporelle que les autres troupeaux. Dans les conditions naturelles, il était difficile de contrôler pour la variabilité entre les régions. Cependant, des analyses ne concernant qu'une ou deux régions arrivent aux même conclusions. L'augmentation de la charge parasitaire dans les fèces était liée à la chute en condition corporelle de la fin de la saison sèche. Il apparaît aussi qu'il y ait une diminution de la survie des jeunes dans le sud. Le ratio veaux/vaches n'a présenté aucune variation entre les régions. Ainsi, il est suggéré que la BTB commence à avoir un effet sur la population de buffles du KNP.

MOTS-CLES : condition corporelle, charge parasitaire, Kruger National Park, maladie en faune sauvage

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS		
RESUME		
TABLE DES MATIERES		1
LISTE DES FIGURES		3
INTRODUCTION		5
MATERIAL ET METHODES:		7
	Structure des âges et ratio veaux/vaches	8
	Charge parasitaire	8
	Condition corporelle	9
	Analyses statistiques	10
RESULTATS :		12
	Structure des âge et ratio veaux/vaches	12
	Charge parasitaire	12
	Condition corporelle	16.
DISCUSSION		21
CONCLUSION		27
BIBLIOGRAPHIE		28

LISTE DES FIGURES

PAGE

Figure 1: Troupeaux échantillonnés durant la campagne de 1998 (cercles noirs) et durant cette étude (cercles gris) sur une carte du Kruger. 11

Figure 2: Fréquences des classes d'age de buffle reparties pour chaque troupeau et comparées par région. La taille de l'échantillon est de 3114 individus. 13

Figure 3: Comptes d'oeufs dans les fèces pour le début et la fin de la saison sèche (uniquement pour les œufs de type *Trichonstrongylus*). 14

Figure 4 : Charge parasitaire en relation avec la moyenne de la condition corporelle pour les femelles de plus de trois ans. 15

Figure 5: Changement dans les scores de condition corporelle (Index de Prins) entre le début et la fin de la saison sèche dans les différentes régions du KNP. 17

Figure 6: Changements dans les scores de condition corporelle entre les saisons pour différentes prévalence de BTB.
Le deuxième facteur indépendant est la prévalence de BTB répartie en quatre classes : zéro= 0 % de prévalence; faible prévalence= 0 à 20 %; moyenne prévalence= 20 à 40 %; et haute prévalence> 40 %. 18

Figure 7a: 7a Moyenne de la condition corporelle et prévalence de la BTB pour les femelles adultes, pendant la fin de la saison sèche. 19

Figure 7b: Moyenne de la condition corporelle et prévalence de la BTB pour les femelles adultes, uniquement dans la région sud et pendant la fin de la saison sèche. 19

Figure 8: Changements entre le début et la fin de la saison sèche,
en utilisant les comptes d'œufs dans les fèces et la condition corporelle,
pour différentes classes de prévalence de la BTB. 25

INTRODUCTION

La tuberculose bovine (BTB) touche les populations sauvages et domestiques partout dans le monde. Les pays développés ont contrôlé la BTB chez le bétail par des programmes de testage-abattage (DEFRA 2000, Kao & Roberts 1999, Krebs *et al*. 1998), mais cette stratégie s'est avérée inefficace dans les régions où des réservoirs sauvages entretiennent la maladie (Krebs 1997; Schmitt *et al.* 1997; Bruning-Fann *et al*. 1998; Landcare Research 2000). Un problème de BTB s'est développé dans le Kruger National Park (KNP), Afrique du Sud, après que l'agent soit entré dans le parc par sa frontière sud, avant 1980, alors qu'il n'y avait pas de séparation entre les troupeaux de buffles et le bétail domestique (de Vos *et al*. 2001). Le premier cas a été diagnostiqué en 1990, chez un buffle mâle de deux ans, en très mauvaise condition (Bengis *et al*. 1996). Le buffle semble être un hôte de maintenance pour la maladie, contaminant d'autres espèces (Bengis & Keet 2000, Rodwell *et al*. 2001). Depuis 1990, l'agent de la BTB a été retrouvé chez des babouins (*Papio ursinus*), des lions (*Panthera leo*), des grands koudous (*Tragelaphus strepsiceros*), un guépard (*Acinonyx jubatus*) et un léopard (*Panthera pardus*) dans le KNP (Bengis & Keet 2000). L'impact de la maladie chez ces hôtes accessoires et sur le reste de l'écosystème du KNP n'est pas connu, et les gestionnaires du parc doivent prendre une décision pour contrôler cette situation alors que les informations sont rares. Un abattage, l'installation d'une zone sans buffle (une barrière ou une zone tampon) pour protéger la région nord encore indemne de BTB, la vaccination (mais pour l'instant aucun vaccin n'est efficace) ou ne rien faire sont les options disponibles (de Vos *et al*. 2001). La gestion de la BTB dans le KNP devient primordiale dans le contexte de l'établissement du parc transfrontalier Gaza-Kruger-Gonerezou entre l'Afrique du Sud, le Mozambique et le Zimbabwe. Jusqu'à récemment, le Zimbabwe pouvait exporter de la viande

vers la Communauté Européenne. Ceci deviendrait impossible si des buffles infectés par la BTB, originaires du KNP, venaient à paître avec le bétail du Zimbabwe (Winterbach 1998).

Les données récoltées par les services du parc en 1991, 1992 et 1998 indiquent que la prévalence de la BTB augmente dans le sud et se propage lentement vers le nord (Vos *et al*. 2001). Cependant, les effets de la BTB sur la population de buffles sont toujours faibles selon une récente étude dans le KNP (Rodweell *et al*. 2001). Cette étude n'a pas révélé d'impact de la maladie sur la reproduction ni la mortalité, et uniquement un léger effet sur la structure des âges.

Le but de ce projet était d'étudier la relation entre la BTB et des indicateurs de condition, au niveau du troupeau dans la population de buffles du Kruger. La structure des âges, le rapport veaux/femelles, la condition corporelle et la charge parasitaire dans les faeces ont été comparés chez des troupeaux ayant différentes prévalences de BTB et dans les différentes régions du Kruger, en supposant que la BTB ait un impact sur la mortalité et la morbidité chez le buffle. Le taux de mortalité est difficile à estimer directement sur une courte période, mais nécessaire pour déterminer l'impact de la BTB sur la population. La structure des âges et la condition corporelle ont été utilisées comme indicateurs de la mortalité. De nombreuses maladies altèrent la structure des âges des populations sauvages: la mortalité des jeunes, par exemple, chez le loup, *Canis lupus*, augmente quand la population est touchée par le parvovirus (Mech & Goyal 1995) ainsi que chez le lycaon, *Lycaon pictus*, lors d'une épidémie de maladie de Carré (Vucetich & Creel 1999). De même, les populations d'ongulés d'Afrique ont été structurées par la peste bovine (morbillivirus) au cours du XXe siècle (McCallum & Dobson 1995).

La BTB est une maladie bactérienne chronique qui persiste pendant des années chez les hôtes de maintenance infectés, jusqu'à la mort (Morris, Pfeiffer & Jackson 1994). Les faits qu'il n'y ait pas de guérison possible et que les adultes soient exposés à la maladie durant une

période plus longue que les jeunes individus suggèrent que plus les individus sont âgés, plus ils ont de chance d'être infectés (Rodwell *et al*. 2001). Ainsi, si la BTB augmente le taux de mortalité, la structure des âges sera changée chez les troupeaux infectés. Les maladies contagieuses ont aussi un effet sur la morbidité dans les populations infectées comme *Brucella abortus* qui affecte la reproduction et les productions des troupeaux de ruminants sauvages (et le buffle africain en est un exemple; Sinclair 1977) et la BTB qui provoque stérilité, pertes en lait et de croissance chez le bétail (Bernues *et al*. 1997) ainsi qu'une immunodéficience chez les humains (Jiwa *et al*. 1997). La morbidité a été évaluée en notant la condition corporelle et estimant la charge parasitaire grâce à une méthode McMaster composée (Raynaud, 1970; Thienpont *et al*. 1986; Ward, Lyndal-Murphy & Baldock 1997). La saison sèche (de juin à novembre) limite plus que tout autre saison les ressources des buffles (Sinclair, 1977, Prins, 1996). En conséquence, de légères différences en condition ou en charge parasitaire sont censées avoir un plus grand effet sur la morbidité à cette période, et nous avons donc effectué cette étude durant la saison sèche.

Ce projet a utilisé des méthodes simples pour produire des informations sur le statut et l'effet de la BTB sur la population de buffles du KNP, trois années après la dernière étude (Rodwell *et al*. 2001) et dans un contexte où les données sur l'impact de la BTB sur les populations sauvages sont rares.

MATERIEL ET METHODES

Les données ont été collectées dans le Kruger National Park (entre 22°31'S et 25°31'S, 30°45'E et 32°00'E) de juillet à septembre 2001. Le KNP peut être divisé longitudinalement en deux parties. La partie gauche est principalement composée d'un sol granitique et la partie droite d'un sol basaltique (avec l'exception de l'extrême est, composé des montagnes Lebombo sur rhyolite). Plus de 600 mm de pluie sont attendus chaque année dans la partie sud (en dessous de la rivière Sabie), alors que la partie centrale reçoit entre 400 et 600 mm et le nord (au dessus de la rivière Oliphants), plus sec, se contente d'une moyenne de 400 mm, voir moins selon les aires (avec l'exception de la région de Punda Maria qui reçoit 600 à 700 mm). En conséquence, la végétation diffère d'une région à l'autre : la région sud est dominée par une savane arborée composée majoritairement de *Combretum spp*., alors que la région centrale est couverte d'une association de savanes à *Combretum spp*. et *Acacia nigrecens* et le nord d'une végétation de type sandveld et shrubveld à *Colophospermum mopane* et enfin rugged veld (Gertenbach 1983).

Le travail le plus complet sur l'épidémiologie de la BTB dans le KNP a été conduit par Rodwell *et al.* (2001). Cette étude a divisé le parc en trois zones de prévalence de BTB: une région à haute prévalence, jusqu'à 55 %, et en moyenne 38.2 %, entre les rivières Crocodile (frontière sud du parc) et Sabie; une région de moyenne prévalence, avec une moyenne de 16 %, entre les rivière Sabie et Oliphants ; et enfin une région de faible prévalence, avec une moyenne de 1.5 %, au nord de la rivière Oliphants (Rodwell *et al*. 2001; Fig. 1). Cette même étude donne les estimations de prévalence de BTB (définies par histopathologie et culture bactérienne) à partir d'un échantillon de 600 buffles, en 1998.

Des troupeaux ont été observés dans les trois régions, en utilisant des enregistrements vidéos alors qu'ils traversaient des routes ou des régions dégagées. Cet échantillonnage a été

répété deux fois, en juillet et septembre, pour évaluer l'impact sur les indicateurs de condition de la saison sèche. Les troupeaux ont été localisés aléatoirement à travers tout le KNP, pendant cinq à huit jours par régions, aboutissant à quatre à six troupeaux par région et par saison.

Structure des ages et ratio veaux/vaches

Les buffles ont été âgés selon leur carrure, le développement et la forme de leurs cornes et pour les mâles, selon la taille du fanon et des testicules. Cette méthode d'estimation visuelle est basée sur des recherches précédentes (Pienaar 1969; Grimsdall 1973; Sinclair 1977). Quatre classes d'ages ont été utilisées : 0-1 an, 1-3 ans, 3-5 ans et au-dessus de cinq ans. Le sexe a été enregistré pour les deux dernières classes d'ages. Le ratio veaux/vaches a été estimé par le rapport entre le nombre d'individus de la classe '0-1 an' sur le nombre d'individus de la classe 'femelle de plus de cinq ans'. A cause de la grande variabilité de la présence ou absence des groupes de mâles solitaires dans les troupeaux reproducteurs, il n'a pas été possible d'évaluer avec précision le sexe ratio en utilisant les données récoltées. Les troupeaux échantillonnés deux fois (une fois pour chaque saison) n'ont été utilisés qu'une seule fois pour les analyses de la structure des ages et du ratio veaux/vaches.

Charge parasitaire

Une méthode McMaster modifiée de comptage des oeufs de parasites (Raynaud 1970) a été utilisée pour estimer la charge parasitaire. Pour cette technique de flottation, les échantillons de fèces ont été mélangés avec un liquide dense ($MgSO_4 7H_2O$) qui fait flotter les oeufs. Une quantité définie de ce mélange déposée sur une lame McMaster permet un comptage. Trente échantillons de fèces ont été collectés sur le sol pour chaque troupeau, deux heures après qu'ils aient été déposés. Seules les plus grandes bouses (> 25 cm de diamètre) ont été récoltées pour inclure le plus d'adultes possible, en supposant que la taille du colon augmente avec l'âge jusqu'à une certaine limite. Les analyses microscopiques ont été réalisées dans les

12 à 48 heures après la récolte (les échantillons étant stockés entre 2-4°C). Cinq échantillons de fèces ont été mélangés pour chacune des six analyses microscopiques par troupeau. Cette méthode composée a permis de diminuer l'importance de la variabilité individuelle et de meilleures estimations de la charge parasitaire pour une quantité d'effort et de temps moindre (Ward *et al*. 1997). La lame McMaster était composée de trois chambres, en accord avec les recommandations techniques internationales. Pour chaque analyse composée, les trois chambres ont été comptées complètement (et pas seulement les grilles). La somme de ces trois chambres a été utilisée pour les analyses statistiques. Pour les analyses statistiques principales, seuls les œufs de type *Trichonstrongylus* (oeuf de taille moyenne entre 85 et 100 µm, comprenant les espèces *Cooperia* sp., *Haemonchus* sp., *Trichostrongylus spp*., *Ostertagia spp*. and *Oesophagostumum* sp.; Thienpont *et al*. 1986) ont été pris en compte. Les autres œufs ou oocystes coccidiens ont été inclus dans une analyse "pluriparasitaire", où chaque analyse microscopique était notée entre 0 et 1, selon le nombre d'espèces d'oeufs présentes: 0 = seulement des oeufs de type *Trichonstrongylus* ; 1 = au moins une autre espèce.

Condition corporelle

Le genre, l'âge et la condition corporelle ont été enregistrés sur les séquences vidéos, pour les individus dans les meilleures positions pour être évaluées. Si la taille de l'échantillon pour la condition corporelle était plus petite que pour la structure des âges, les catégories d'âges étaient plus précises: 2-3 ans, 3-5 ans, 5-8 ans, 8-12 ans et au-dessus de 12 ans. Le genre de tous les animaux au-dessus de trois ans a été enregistré . L'index de Prins modifié (Prins 1996; basé sur la distribution de graisse sous-cutanée), a été utilisé pour estimer la condition corporelle. Une échelle de 1 à 5 a été appliquée, avec des demi-points pour augmenter la précision: 1 correspond à des individus en très mauvaise condition corporelle et 5 à des individus en très bonne condition. La localisation des troupeaux a été déterminée en utilisant un Global Positioning System (GPS).

Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été conduites à l'échelle des troupeaux et des régions. L'échelle régionale a comparé les trois régions de prévalence de BTB du KNP, alors que l'échelle de troupeau a comparé des troupeaux avec différentes estimations de prévalence de BTB. Une prévalence de BTB du plus proche troupeau échantillonné lors de la campagne de 1998 a été attribuée à chacun des troupeaux échantillonnés lors de notre étude (Fig. 1). L'échelle régionale a permis de comparer nos résultats avec ceux de l'étude Rodwell *et al*. (2001). L'échelle de troupeau a tenté de diminuer l'importance de la variabilité associée aux différentes régions.

Les tests utilisés ont été: ANOVA à deux voies, test Tukey HSD, t-test, test de régression linéaire et logistique et χ^2-test (Zar 1996; Bouyer 1997). Ces analyses ont été conduites en utilisant STATISTICA (StatSoft 1991).

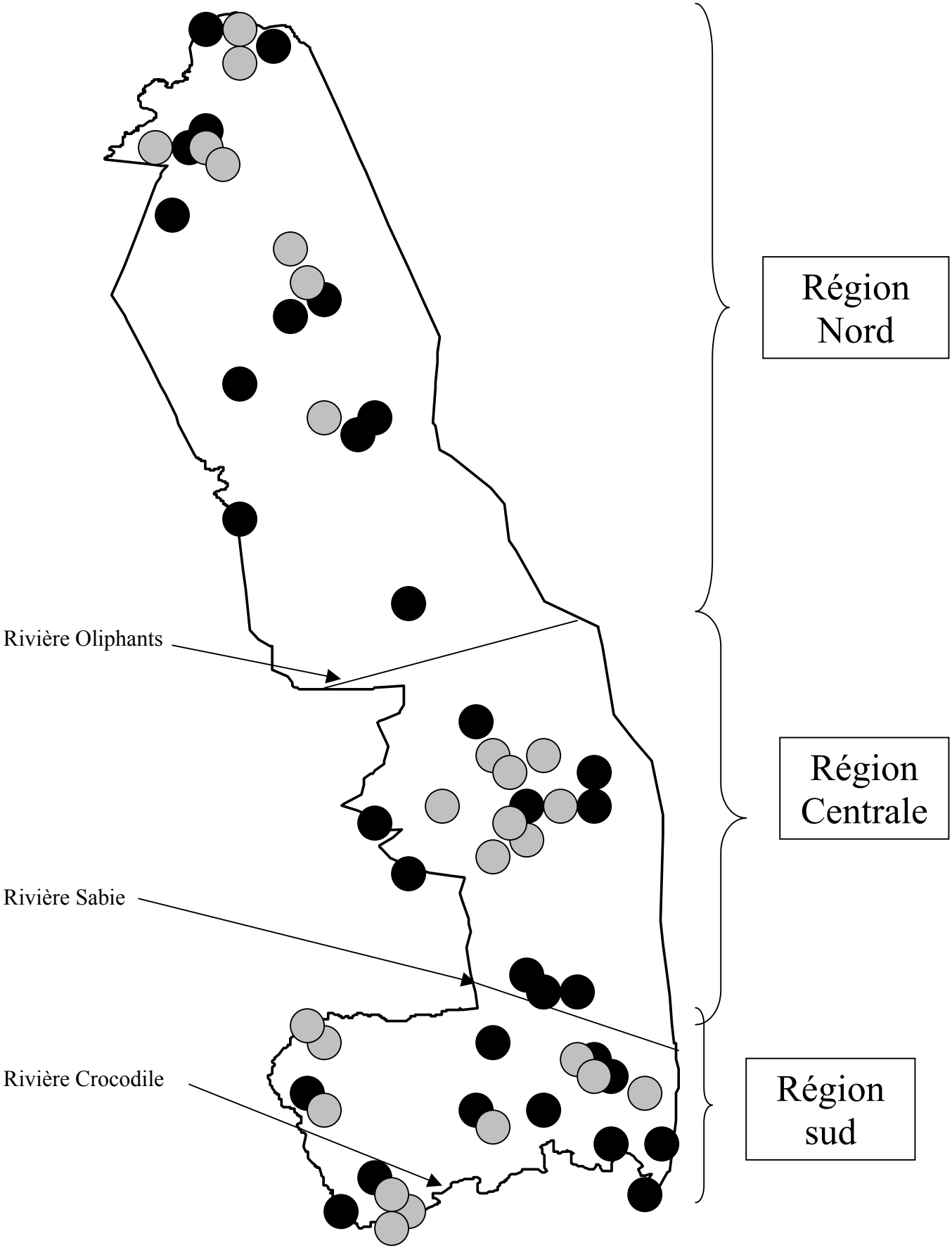

Fig.1 Troupeaux échantillonnés durant la campagne de 1998 (cercles noirs) et durant cette étude (cercles gris) sur une carte du Kruger.

RESULTATS

Structure des âges et ratio veaux/vaches

Aucune différence significative générale n'a été détectée entre les régions dans la distribution de la structure des âges (P = 0,06; df = 6; χ^2-test ; Fig. 2). A l'intérieur de chaque classe, cependant, une différence significative existait entre les régions pour la classe d'âge 1-3 ans (P < 0,05; χ^2-test). Une différence significative a été décelée dans cette même classe de 1-3 ans quand la structure des âges a été investiguée à l'échelle des troupeaux en utilisant la prévalence de BTB comme variable de groupe (P = 0,01; df = 9; χ^2-test). La région sud avait moins de buffles juvéniles que les autres régions. Il n'y avait pas de différence significative pour le ratio veaux/vaches entre les régions (P = 0,675; ANOVA à une voie).

Charge parasitaire

Les œufs d'endoparasites observés au cours des 180 analyses microscopiques réalisées pendant cette étude étaient majoritairement du type *Trichonstrongylus,* avec de rares *trichuris* spp. et *fasciola* spp.. Des oocystes coccidiens ont aussi été souvent observés, appartenant au moins à trois morphotypes (non identifiée au niveau spécifique ; Thienpont *et al.* 1986; Bussieras & Chermette 1991). Il existait une différence significative entre les deux saisons, un plus grand nombre d'œufs étant comptés à la fin de la saison sèche (P < 0,01; t-test; Fig. 3). Le nombre moyen d'œufs par gramme de fèces (EPG) pour le début de la saison sèche était de 298 et de 409 pour la fin de la saison sèche, avec un intervalle de 0 à 1100 et 0 et 1233 respectivement. La condition corporelle est apparue comme étant en relation avec le comptage d'oeufs; la condition diminuait avec l'augmentation du nombre d'œufs observés (r^2 = 0,38; P < 0,001; test de régression; Fig. 4). Cependant, analysée pour chaque saison, cette relation ne se révèle significative que pour la fin de la saison sèche (début de la saison sèche P = 0,65; fin

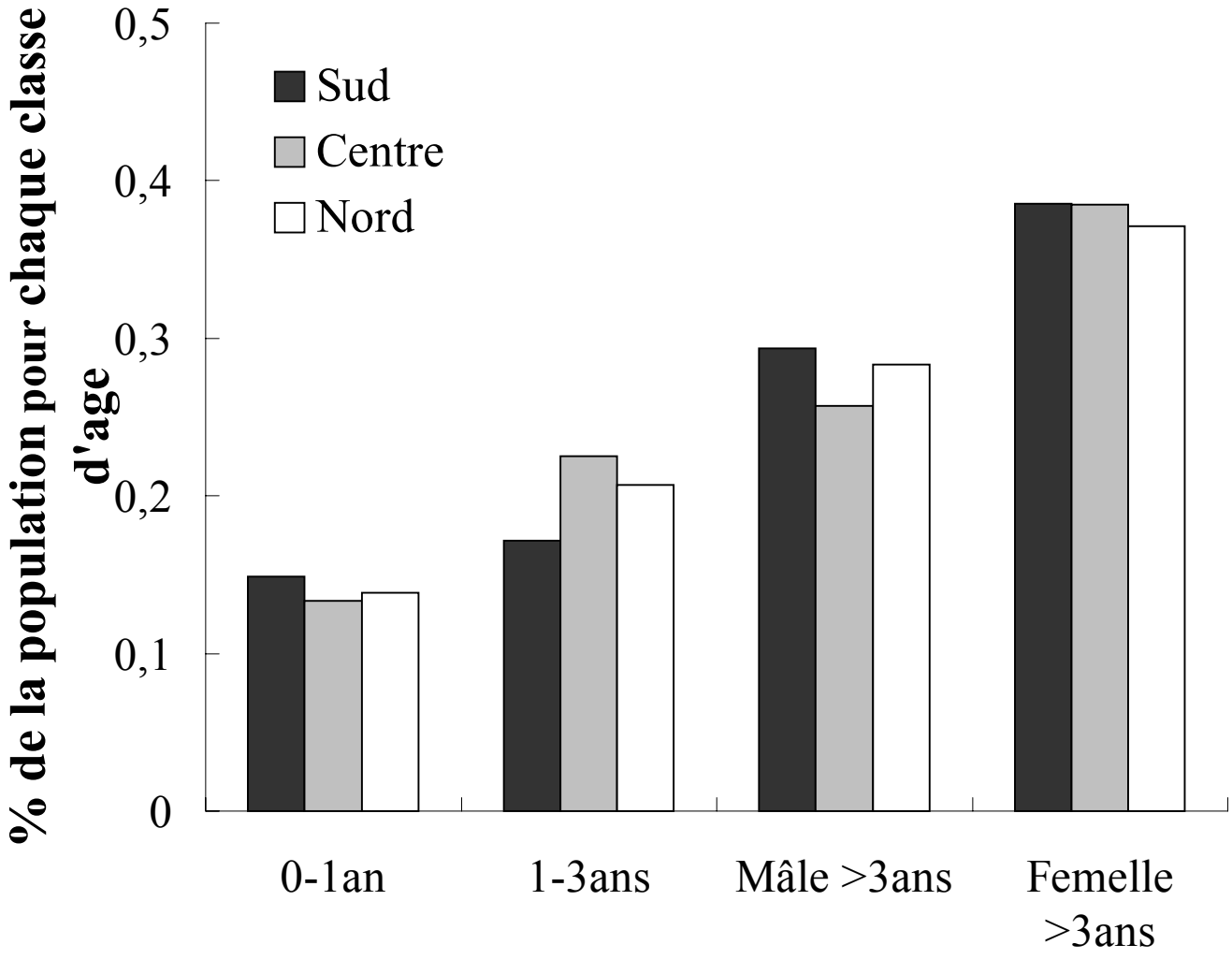

Fig.2 Fréquences des classes d'age de buffle reparties pour chaque troupeau et comparées par région. La taille de l'échantillon est de 3 114 individus.

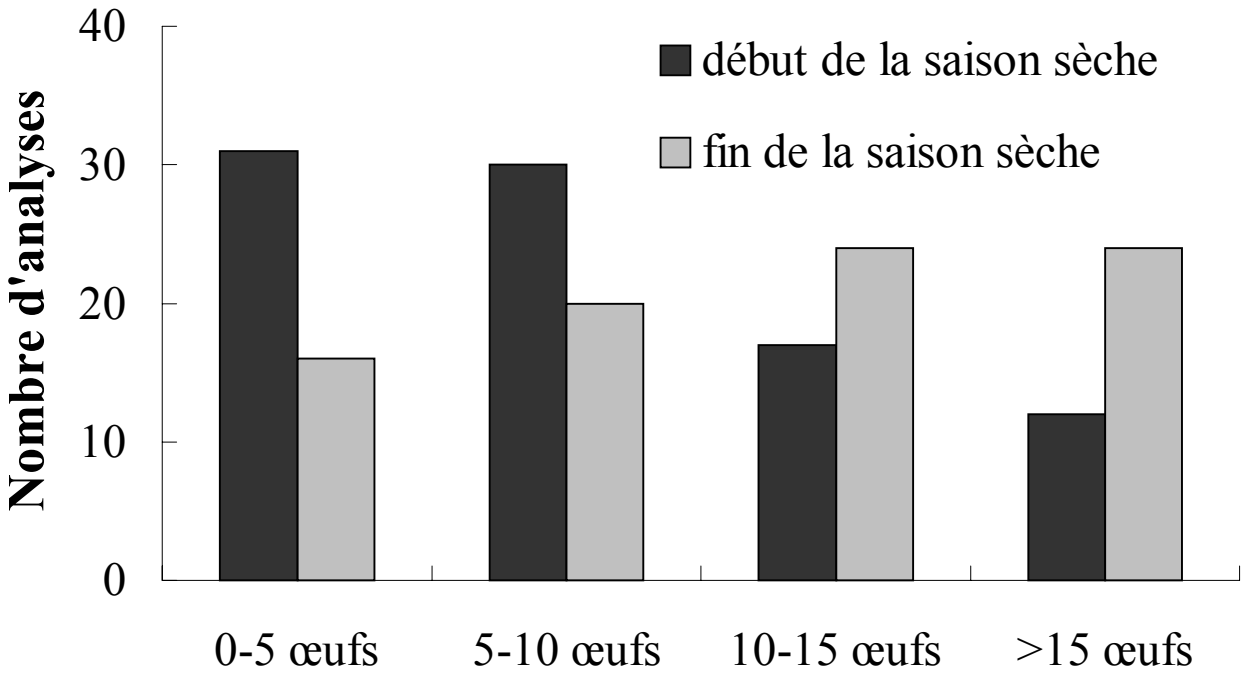
40
30
20
10
0
Nombre d'analyses
début de la saison sèche
fin de la saison sèche
0-5 œufs
5-10 œufs
10-15 œufs
>15 œufs

Fig.3 Comptes d'oeufs dans les fèces pour le début et la fin de la saison sèche (uniquement pour les œufs de type *Trichonstrongylus*).

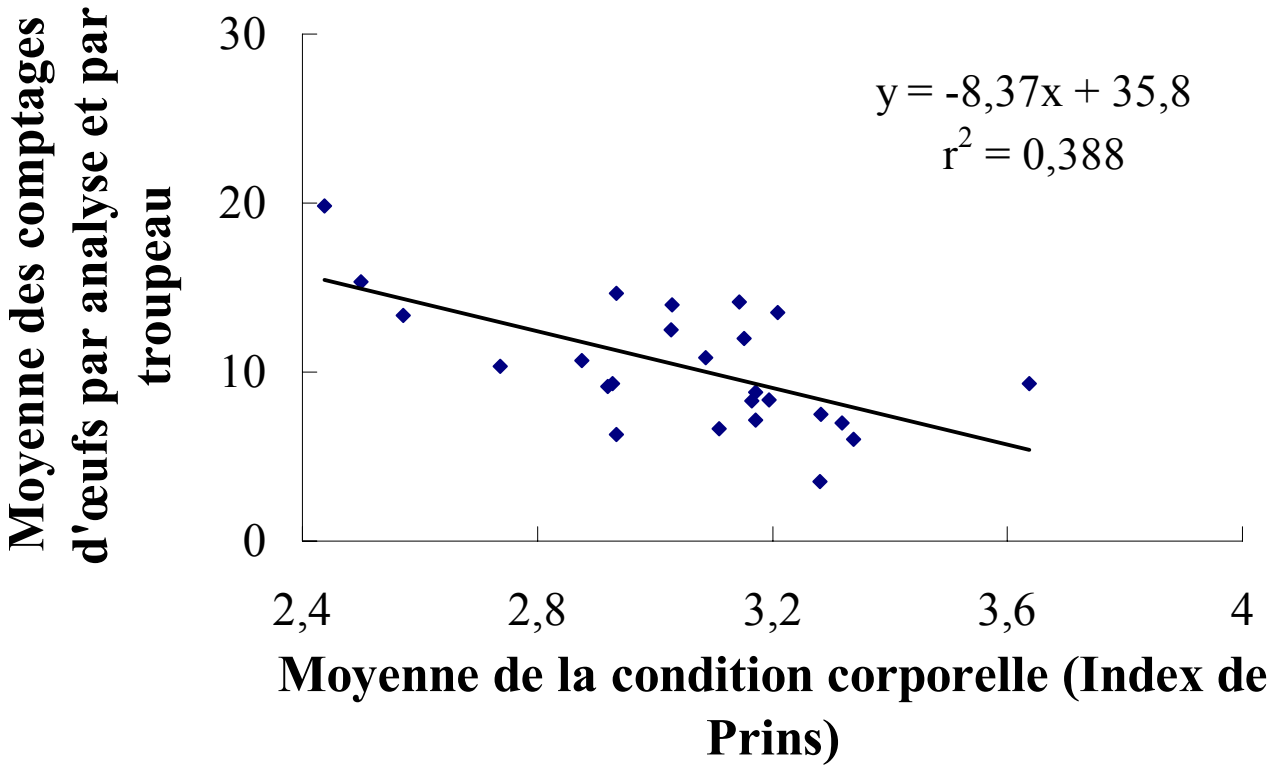
Moyenne des comptages d'œufs par analyse et par troupeau
30
20
10
0
y = -8,37x + 35,8
r2 = 0,388
2,4
2,8
3,2
3,6
4
Moyenne de la condition corporelle (Index de Prins)

Fig.4 Charge parasitaire en relation avec la moyenne de la condition corporelle pour les femelles de plus de trois ans.

de la saison sèche P < 0,05; test de régression). Il n'y avait pas de différence significative entre les comptages d'œufs entre les différentes saisons (P = 0,41; ANOVA à une voie). Finalement, une relation a été détectée entre les comptes d'oeufs, la prévalence de BTB et la saison (saison P < 0,001; prévalence de BTB P = 0,9; et interaction P < 0,05; ANOVA à deux voies), mais sans qu'une tendance claire ne soit identifiée. Il n'y avait pas de différence significative pour l'analyse multiparasitaire entre les saisons (χ^2 = 0.267; P = 0,605; test de régression logistique) indiquant que le nombre d'espèces parasitaires ne dépendait pas des saisons.

Condition corporelle

La condition corporelle a diminué au cours de la saison sèche (P < 0,0001; t-test; Fig. 5) de 3,21± 0,024 au début de la saison sèche à 2,92 ± 0,026 à la fin de la saison sèche, en moyenne en prenant en compte toutes les régions. Les buffles dans la région sud étaient toujours en plus mauvaise condition corporelle que ceux de la région centrale, alors que le nord était toujours dans la meilleure condition corporelle, et ce quelque soit la saison (P < 0,05). La condition corporelle dans le sud a aussi diminué plus rapidement entre les saisons en comparaison avec les autres saisons. Il y avait aussi une relation significative entre la prévalence de BTB des troupeaux et la condition corporelle (Fig. 6). Les troupeaux avec une prévalence de BTB élevée avaient la condition corporelle la plus faible. Les troupeaux avec la prévalence de BTB la plus élevée ont perdu plus de condition corporelle que les autres troupeaux (prévalence P < 0,022; saison P < 0,00001; interaction P = 0,038; ANOVA à deux voies).

Parce qu'il était difficile de séparer les effets dus à la prévalence de BTB et ceux dus aux différences entre les régions (les régions étant définies par la pluviométrie et la prévalence de BTB), et parce que la structures des âges observée pour chaque région peut influencer la condition corporelle, il a été essayé de contrôler pour ces deux facteurs. En n'utilisant qu'une seule classe d'âge, les femelles adultes (classe d'âge la plus stable pour les estimations d'âge

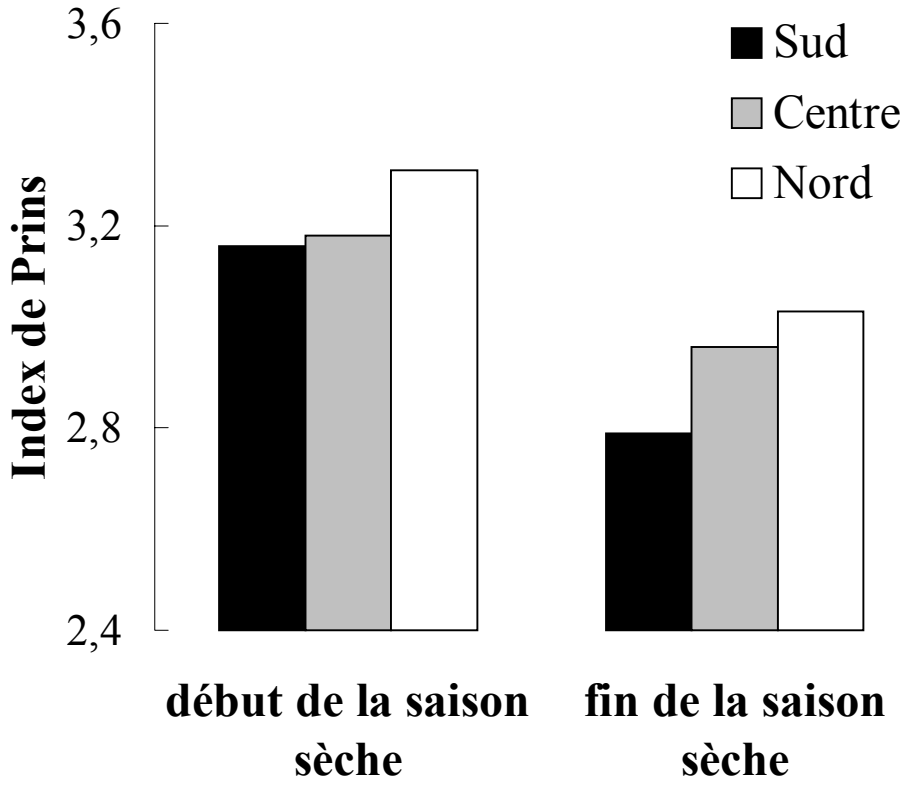

Fig.5 Changement dans les scores de condition corporelle (Index de Prins) entre le début et la fin de la saison sèche dans les différentes régions du KNP.

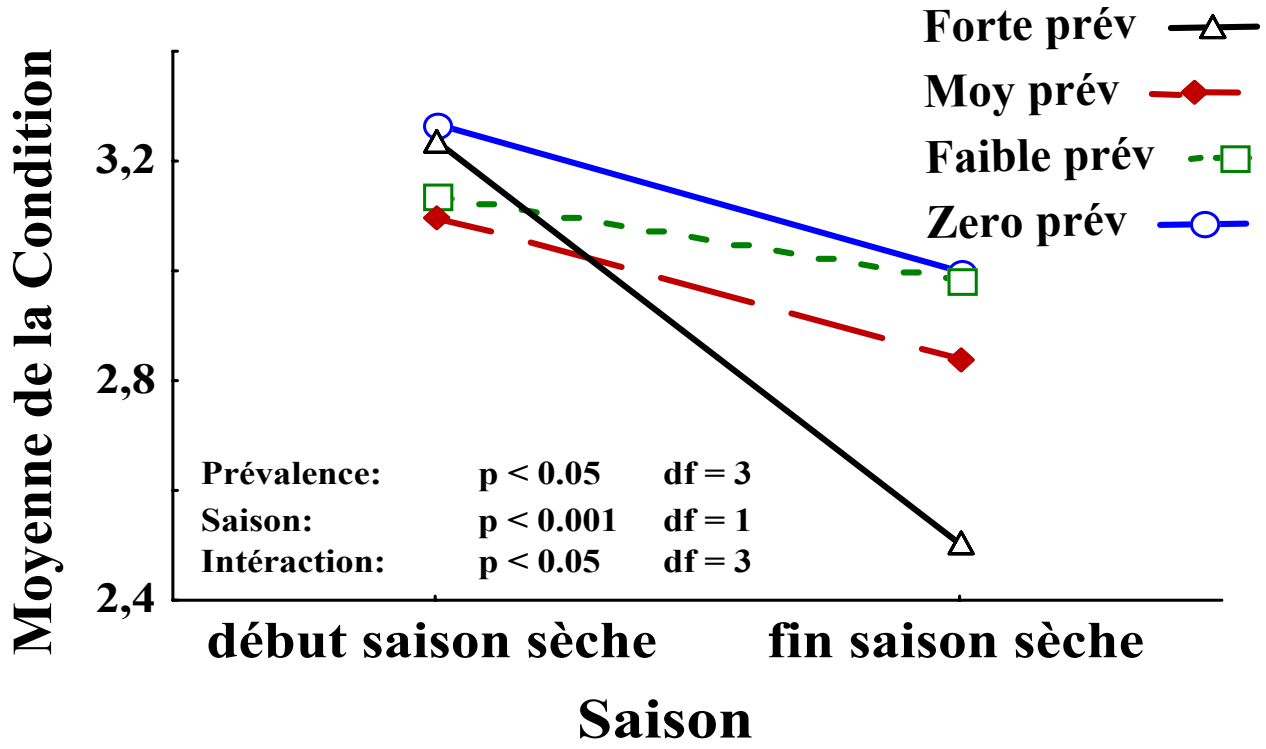

Fig.6 Changements dans les scores de condition corporelle entre les saisons pour différentes prévalence de BTB.
Le deuxième facteur indépendant est la prévalence de BTB répartie en quatre classes : zero= 0% de prévalence; faible prévalence= 0 à 20%; moyenne prévalence= 20 à 40%; et haute prévalence> 40%.

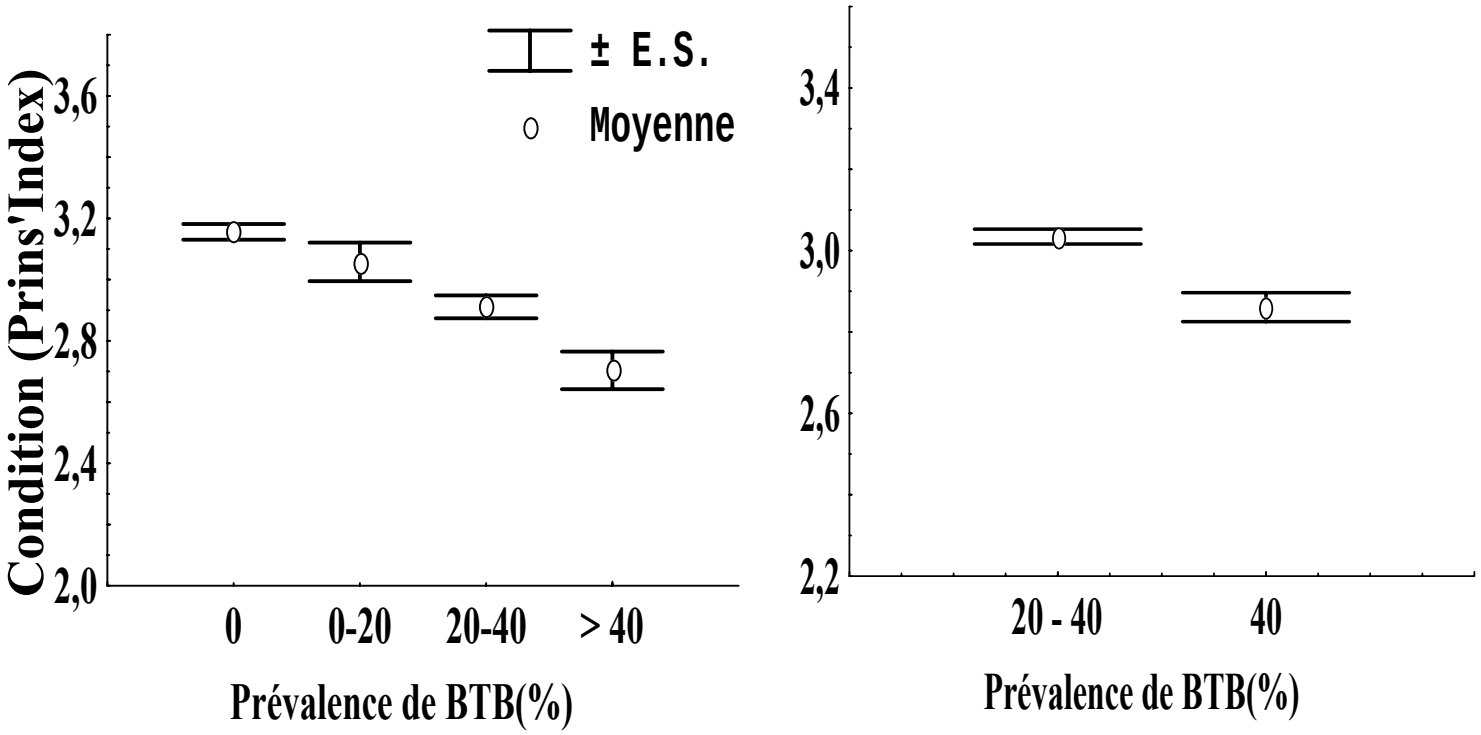

Fig.7a Moyenne de la condition corporelle et prévalence de la BTB pour les femelles adultes, pendant la fin de la saison sèche.

Fig.7b Moyenne de la condition corporelle et prévalence de la BTB pour les femelles adultes, uniquement dans la région sud et pendant la fin de la saison sèche.

et les tests; Fig. 7a), et en n'utilisant uniquement les données de deux ou une seule région, la condition corporelle était toujours plus faible dans les troupeaux où la prévalence de BTB était élevée (en utilisant une ANOVA à deux voies, avec prévalence de BTB et saison comme facteurs indépendants et la condition corporelle comme variable: à travers tout le parc: prévalence $P < 0,05$; saison $P < 0,0001$; interaction $P < 0,05$; en éliminant la région nord: prévalence $P = 0,23$; saison $P < 0,001$; interaction $P < 0,05$; uniquement dans la région sud: prévalence $P = 0,27$; saison $P = 0,001$; interaction $P < 0,05$; Fig. 7b). Ces résultats suggèrent que la relation entre la condition corporelle et la prévalence de la BTB n'était pas dépendante de la structure des âges ou de la région.

DISCUSSION

Les analyses à l'échelle des troupeaux et à l'échelle des régions arrivent à la même conclusion : plus l'estimation de BTB est élevée, plus la condition corporelle est mauvaise. Premièrement, il y avait un gradient décroissant de condition corporelle entre les régions du KNP, de celle avec la plus faible prévalence de BTB vers celle avec la plus haute. La région nord est plus sèche et subit une plus grande variabilité dans les chutes de pluie (Gertenbach 1983) et donc devrait avoir un plus grand impact sur les indicateurs de condition de la population de buffles. Les résultats de cette étude indiquent que la sous-population du sud était en condition corporelle plus faible, et décroissait plus rapidement en condition que les autres régions. Cependant, le nord possède une ressource alimentaire importante pendant la saison sèche que les autres régions n'ont pas: les feuilles de *Colophospermum mopane* (Pienaar 1969; Styles & Skinner 2000). Comme la région sud a la plus haute prévalence de BTB, la BTB pourrait induire une morbidité dans cette sous-population, diminuant les performances des troupeaux et donc la condition corporelle. La structure des âges de l'échantillon n'incluait pas de biais dans les résultats, puisque à l'intérieur d'une même classe d'âge (les femelles adultes), la même tendance est trouvée. Une seconde critique pourrait être que la variabilité entre les régions expliquait les différences de condition corporelle. Mais, la même tendance de condition corporelle décroissante avec une prévalence de BTB en augmentantion, a été trouvée quand les analyses étaient limitées à deux ou une régions. Il peut rester une part de variabilité entre les régions liée à des facteurs ayant un impact à court terme sur la condition corporelle et des données récentes pour chaque région (telles que les dernières chutes de pluie, les feux, les ressources alimentaires) devraient être connues pour donner des conclusions définitives. Néanmoins, une forte relation négative existait entre la prévalence de la BTB et la condition corporelle.

La comparaison des structures des âges des différentes régions n'a pas montré une tendance significative, même si la valeur de P approchait 0,05. Ce résultat s'explique par la différence entre les régions de la classe 1-3 ans, la région sud ayant moins de buffles juvéniles que les régions du centre et du nord. Ceci peut être le résultat d'un biais dans l'échantillonnage (plus faible visibilité des jeunes individus dans certaines régions à cause d'une végétation plus dense); cependant, ce biais aurait été aussi présent dans la classe 0-1 an, qui ne montre pas cette tendance. Une autre explication pourrait être une diminution de la survie des jeunes individus, le ratio veaux/vaches n'étant pas atteint. Dans les cas des trypanosomoses, la survie des veaux semble être le premier indicateur de reproduction montrant des signes de faiblesse, avant ou avec la fertilité (Connor 1994; Fall *et al*. 1999). Ceci serait en accord avec les résultats de la structure des âges qui indiquent une diminution de la survie des veaux mais aucune atteinte de la fertilité. Cet diminution de la survie des veaux peut être causée par des femelles en mauvaise condition corporelle et produisant moins de lait et de moins bonne qualité (Hernandez & Baca 1998, Markusfeld *et al.* 1997). Rodwell *et al.* (2001) ne trouve pas d'effet de la BTB sur la fertilité ou la lactation des femelles buffles. Cependant, la façon dont ils ont groupé leurs classes d'âge est moins précise que celle utilisée dans cette étude et leur estimation de la lactation était basée sur une simple technique de palpation incapable d'estimer la quantité ou la qualité du lait. Pour illustrer cette idée d'une diminution de la survie des veaux, on peut voir dans le KNP, des femelles en très mauvaise condition corporelle (1,5 ou 2 selon l' index de Prins), sont généralement suivies par un veau (souvent en mauvaise condition aussi); cependant la chance de survie de ces veaux doit être faible. Rodwell *et al.* (2001) ont trouvé aussi une sous-représentation des buffles âgés dans le sud, assumant que la BTB induit une mortalité chez les vieux individus. Nous n'avons pas pu trouver cette différence. En effet, il a été difficile de donner un âge précis aux individus au-dessus de huit ans dans l'échantillon de la structure des âges et l'échantillon de la condition

corporelle était trop faible bien que montrant le même résultat que Rodwell *et al.*. Il est important de souligner que la taille de l'échantillon analysé était de plus de 3 100 individus, ce qui est plus que l'étude précédente, et au-dessus de 10% de la population totale de buffles du KNP. Cet échantillon aurait été suffisant pour déceler toute différence significative dans la structure des âges entre les régions ou les troupeaux avec différentes prévalences de BTB. Finalement, nous sommes en accord avec les conclusions de Rodwell *et al*. (2001) : les effets de la BTB au niveau de la population apparaissent lents ou difficiles à détecter.

Les moyennes de charge parasitaire et les espèces trouvées lors de cette étude supportent les résultats de Boomker *et al*. (1996) et Penzhorn (2000) chez le buffle africain dans le Kruger. Les comptes d'oeufs étaient faibles parce que les échantillons ont été récoltés pendant la saison sèche. Au cours de cette saison, les parasites ne produisent que peu d'oeufs puisque les chances de compléter leur cycle dans ces conditions sont très minces (ils utilisent l'hypobiose et les adultes survivent pendant la saison, Jacquiet *et al*. 1995; Ndao *et al*. 1995). L'augmentation du nombre d'oeufs dans les fèces à la fin de la saison sèche a été trouvée dans des études précédentes (Jacquiet *et al*. 1995), mais n'a pas été discutée. Ce phénomène peut être expliqué de deux façons : les buffles sont en plus mauvaise condition à la fin de la saison sèche comme il a été discuté précédemment et sont donc immunodéficients et moins capables de lutter contre leurs parasites, ceux-ci étant donc en meilleure condition et pouvant produire plus d'œufs ; mais cela peut être aussi une adaptation des parasites à la variabilité des chutes de pluie, celles-ci pouvant commencer plus ou moins tôt. La relation entre les comptes d 'oeufs et la condition corporelle est relativement intéressante dans les données du KNP. A la fin de la saison sèche, les individus en mauvaise condition corporelle ne sont pas en mesure de combattre les parasites aussi efficacement qu'à l'habitude, et les parasites produisent donc plus d'oeufs. Dans la littérature, ce type de relation entre nombre d'œufs dans les fèces et condition corporelle est assez controversé (en faveur: Bekele *et al*. 1991; Hoste & Chartier

1993; Linktaker *et al*. 1999; contre: Keith *et al*. 1986; Wolkers *et al*. 1994; Gallivan *et al*. 1996; Zaffaroni *et al*. 1997). Cependant, la plupart de ces études ont été réalisées sur la base d'une année entière (ce qui nivèle les différences entre saisons) ou durant la saison humide (qui est la saison la plus intéressante pour trouver des parasites dans les fèces). Au contraire, cette étude s'est focalisée sur la saison sèche, qui est la saison la plus propice à mettre en valeur ce type de relation.

Sinclair (1977) suggère qu'une petite proportion d'hôtes contiennent un grand nombre de parasites et que ces individus doivent être plus susceptibles à des changements dans leur environnement à cause de cette charge parasitaire élevée. Ainsi, la condition corporelle et le nombre d'oeufs de parasites dans les fèces sont liés à la condition générale et peuvent être suivis pour évaluer la morbidité. La relation entre le nombre d'oeufs dans les fèces et condition corporelle ne devient significative qu'en fin de saison sèche, et les différences de condition corporelle entre les troupeaux ou les régions ayant des prévalences de BTB différentes augmentent avec l'avancée de la saison sèche tout comme le nombre d'oeufs de parasites par analyses. L'interaction entre les comptes d'œufs dans les fèces, la saison et la prévalence de BTB, bien que significative, ne montre pas de tendance claire. Cependant, il apparaît que les troupeaux avec la prévalence de BTB la plus forte possèdent le plus grand nombre d'oeufs dans les fèces à la fin de la saison sèche. L'impact de la saison sèche est donc important, provoquant un stress au niveau de la population. Les changements entre le début et la fin de la saison sèche, en utilisant la moyenne des comptes d'oeufs par troupeau et la moyenne de la condition corporelle par troupeau, pour différentes classes de prévalences de BTB sont indiqués dans la Fig.8. Premièrement, le point représentant la classe 0 à 20 % de prévalence de BTB possède le plus petit échantillon et donc « pèse » moins sur le graphique que les autres points. Deuxièmement, les troupeaux avec la prévalence de BTB la plus forte souffrent du plus grand impact de la saison sèche, avec la plus grande augmentation en oeufs

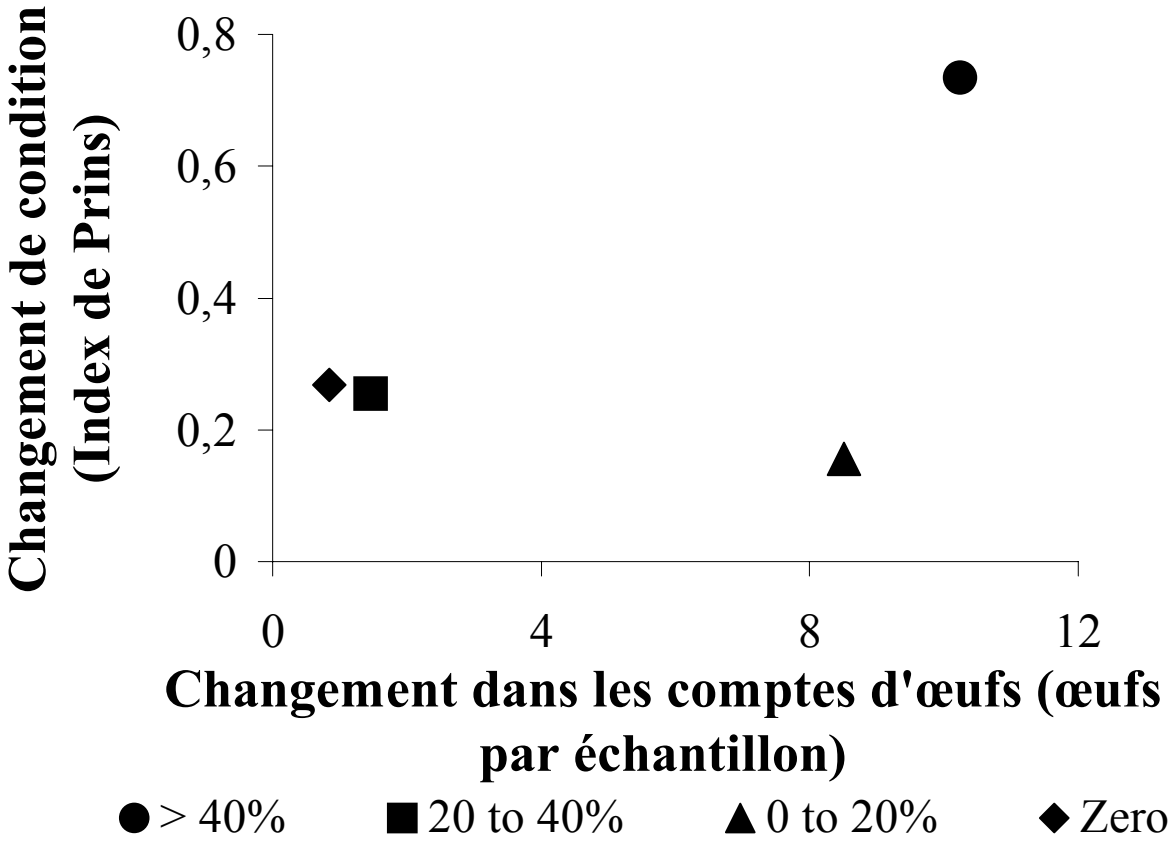
Changement de condition (Index de Prins)
0,8
0,6
0,4
0,2
0
0
4
8
12
Changement dans les comptes d'œufs (œufs par échantillon)
> 40%
20 to 40%
0 to 20%
Zero

Fig.8 Changements entre le début et la fin de la saison sèche, en utilisant les comptes d'œufs dans les faeces et la condition corporelle, pour différentes classes de prévalence de la BTB.

dans les fèces et la plus grande diminution en condition corporelle. La fin de la saison sèche augmente donc les différences entre les troupeaux avec des prévalences de BTB différentes.

CONCLUSION

Nos résultats suggèrent un impact de la BTB sur la population de buffles du KNP, mais des suivis ultérieurs sont manifestement nécessaires. Une diminution de la survie des jeunes et une augmentation du nombre d'œufs de parasites dans les fèces peuvent être liées à la diminution de la condition corporelle dans les troupeaux à forte prévalence de BTB. La condition corporelle a été l'indicateur étudié le plus intéressant. Il est facile à mesurer avec des personnes entraînées et facile à répéter. La variabilité de ces indicateurs entre les régions et troupeaux avec différentes prévalences de BTB peut être attribuée à de nombreux facteurs tels que les feux ou la disponibilité des ressources alimentaires, mais aussi à la BTB. Dans le future, nous encourageons les gestionnaires du parc à répéter ce genre d'étude pour évaluer si les mesures des indicateurs changent au cours des années (au moins la condition corporelle et la survie des jeunes). Si une décision est prise pour un abattage sélectif des buffles basé sur la condition corporelle (dans la région sud par exemple pour diminuer la prévalence de la BTB), cet abattage devra se dérouler à la fin de la saison sèche quand les différences entre troupeaux avec des prévalences de BTB différentes sont maximum et donc plus facile à détecter.

Ces résultats indiquent que la population de buffles du KNP commence à souffrir de l'impact de la BTB, causé par une étroite relation entre condition générale et ressources alimentaires.

BIBLIOGRAPHIE

BEKELE, T., KASALI, O.B. & REGE, J.E., 1991. Repeatability of measurements of pached cell volume and egg count as indicators of endoparasite load and their relationship with sheep productivity. *Acta Tropica*, **50**(2): 151-160.

BENGIS, R.G., KRIEK, N.P.J., KEET, D.F., RAATH, J.P., DE VOS, V. & HUCHZERMEYER, H.F.A.K., 1996. An outbreak of Bovine Tuberculosis in a free-living African buffalo (*Syncerus caffer*-Sparrman) population in the Kruger National Park – A preliminary report. *Onderstepoort Journal of Veterinary Research*, **63**(1): 15-18.

BENGIS, R.G. & KEET, D.F., 2000. Bovine Tuberculosis in the Kruger National Park. *Proceedings of the Wildlife Disease Association Workshop*, pp. 14-18.

BERNUES, A., MANRIQUE, E. & MAZA, M.T., 1997. Economic evaluation of bovine brucellosis and tuberculosis eradication porgrammes in a mountain area in Spain. *Preventive Veterinary Medecine*, **30**: 137-149.

BOOMKER, J., HORAK, I.G., PENZHORN, B.L. & KEET, D.F., 1996. Parasites of African buffaloes: a documentation. *Proceedings of a symposium on the African buffalo as a game ranch animal*, Onderstepoort.

BOUYER, J., 1997. *Méthodes statistiques Médecine-Biologie*. ESTEM, INSERM editions, Paris.

BRUNING-FANN, C.S., SCHIMITT, S.M., FITZGERALD, S.D., PAYEUR, J.B., WHIPPLE, D.L., COOLEY, T.M., CARLSON, T., & FRIEDRICH, P., 1998. *Mycobacterium bovis* in coyotes from Michigan. *Journal of Wildlife Diseases,* **34**: 632-636.

BUSSIERAS, J. & CHERMETTE, R., 1991. *Abrégé de parasitologie vétérinaire ; fascicule 1 : parasitologie générale*. Service de parasitologie ; Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort, Maisons-Alfort.

CONNOR, R.J., 1994. The impact of nagana. *The Onderstepoort Journal of Veterinary Research*, **61**(4): 379-383.

DEFRA, 2000. Point 4: Cattle Controls. http://www.defra.gov.uk/animalh/tb.

DE VOS, V., BENGIS, R.G., KRIEK, N.P.J., MICHEL, A., KEET, D.F., RAATH, J.P. & HUCHZERMEYER, H.F.K.A., 2001. The epidemiology of tuberculosis in free-

ranging African buffalo (Syncerus caffer) in the Kruger National Park, South Africa. *Onderstepoort Veterinary Research*, **68**(2): 119-130.

FALL, A., DIACK, A., DIAITE, A., SEYE, M. & IETEREN, G.D.M., 1999. Tsetse challenge, trypanosome and helminth infection in relation to productivity of village Ndama cattle in Senegal. *Veterinary Parasitology*, **81**: 235-247.

GALLIVAN, G.J., BARKER, I.K., CULVERWELL, J. & GIRDWOOD, R., 1996. Prevalence of hepatic helminths and associated pathology in Impala (*Aepyceros melampus*) in

Swaziland. *Journal of Wildlife Diseases*, **32**(1): 137-141.

GERTENBACH, W.P.D., 1983. Landscapes of the Kruger National Park. *Koedoe*, **26**(9): 9-121.

GRIMSDELL, J.J.R., 1973. Age determination of the African buffalo, *Syncerus caffer* – Sparrman. *East African Wildlife Journal*, **11**: 31-53.

HERNANDEZ, J. & BACA, D., 1998. Effect of tuberculosis on milk production in dairy cows. *Journal of American Veterinary Medical Association*, **213**(6): 851-854.

HOSTE, H. & CHARTIER, C., 1993. Comparison of the effects on milk production of concurrent infection with *Haemonchus contortus* and *Trichostrongylus colubriformis* in high- and low-producing dairy goats. *American Journal of Veterinary Research*, **54**(11): 1886-1893.

JACQUIET, P., COLAS, F., CABARET, J., DIA, M.L., CHEUKH, D. & THIAM, A., 1995. Dry areas : an example of seasonal evolution of helminth infection of sheep and goats in southern Mauritania. *Veterinary Parasitology*, **56**: 137-148.

JIWA, S.F., KAZWALA, R.R., ABOUD, A.A. & KALAYE, W.J., 1997. Bovine tuberculosis

in the lake Victoria zone f Tanzania and its possible consequences for human health in the HIV/AIDS era. *Veterinary Research Communications*, **21**(8): 533-539.

KAO, R.R. & ROBERTS, M.G., 1999. A comparison of wildlife control and cattle vaccination as methods for the control of bovine tuberculosis. *Epidemiology and Infection*, **122**: 509-519.

KEITH, I.M., KEITH, L.B. & CARY, J.R., 1986. Parasitism in a declining population of snowshoe hares. *Journal of Wildlife Diseases*, **22**(3): 349-363.

KREBS, J.R., 1997. *Bovine Tuberculosis in Cattle and Badgers, Report to The Rt Hon Dr Jack Cunningham MP – the Krebs Report*. MAFF, 191p.

KREBS, J.R., ANDERSON, R.M., CLUTTON-BROCK, T., DONNELLY, C.A., FROST, S.,

MORRISON, W.I., WOODROFFE, R. & YOUNG, D., 1998. Badgers and Bovine TB: Conflicts Between Conservation and Health. *Science*, **279**: 817-818.

LANDCARE RESEARCH, 2000. Possums and TB. http://www.landcare.cri.nz/information_services/publications/infoshts/possums/possu ms_&_tb.pdf.

LINTAKER, W.L., CAMERON, E.Z., MINOT, E.O. & STAFFORD, K.L., 1999. Stallion harassement and the mating system of horses. *Animal Behaviour*, **58**: 295-306.
McCALLUM, H. & DOBSON, A., 1995. Detecting disease and parasite threats to endangered species and ecosystems. *TREE*, **10**(5): 190-194.

MARKUSFELD, O., GALON, N. & EZRA, E., 1997. Body condition score, health, yield and

fertility in diary cows. *The Veterinary Record*, **141**(3): 67-72.

MECH, L.D. & GOYAL, S.M., 1995. Effects of canine parvovirus on gray wolves in Minesota. *Journal of Wildlife Management*, **59**: 565-570.

MORRIS, R.S., PFEIFFER, D.U.& JACKSON, R., 1994. The epidemiology of *Mycobacterium bovis* infections. *Veterinary Microbiology*, **40**: 153-177.

NDAO, M., PANDEY, V.S., ZINSSTAG, J. & PFISTER, K., 1995. Helminth parasites and hypobiosis of nematodes in N'Dama cattle during the dry season in The Gambia. *Veterinary Parasitology*, **60**: 161-166.

PENZHORN, B.L., 2000. Coccidian oocyst and nematode egg counts of free-ranging African buffalo (Syncerus caffer) in the Kruger National Park, South Africa. *Journal of southern Africa veterinary association*, **71**(2): 106-107.

PIENAAR, U.de V., 1969. Observations on developmental biology, growth and some aspects of the population ecology of African buffalo (*Syncerus caffer caffer* Sparrman). *Koedoe*, **12**: 29-52.

PRINS, H.H.T., 1996. *Ecology and Behavioural of the African Buffalo*. Chapman & Hall Wildlife Ecology and Behaviour Series, University of Southampton, United Kingdom, 293p.

RAYNAUD, J.P., 1970. Etude de l'efficacité d'une technique de coproscopie quantitative pour le diagnostic de routine et le contrôle des infestations parasitaires des bovins, ovins, equins et porcins. *Annales de Parasitologie Humaine et Comparée*, **45** : 321-342.

RODWELL, T.C., WHYTE, I.J. & BOYCE, W.M., 2001. Evaluation of population effects of bovine tuberculosis in free-ranging African buffalo (*Syncerus caffer*). *Journal of Mammalogy*, **82**(1): 231-238.

SCHMITT, S.M., FITZGERALD, S.D., COOLEY, T.M., BRUNING-FANN, C.S.,SULLIVAN, L., BERRY, D., CARLSON, T., MINNIS, R.B., PAYEUR, J.B., & SIKARSKIE, J., 1997. Bovine tuberculosis in free-ranging white-tailed deer from Michigan. *Journal of Wildlife Diseases,* **33**: 748-758.

SINCLAIR, A.R.E., 1977. *The African buffalo: A study of resource limitation of population*. The University of Chicago Press, Chicago, 355p.

STATSOFT, 1991. *Statistica*. StatSoft inc., Tulsa, Oklahoma, USA, 298p.

STYLES, C.V. & SKINNER, J.D., 2000. The influence of large mammalian herbivores on growth form and utilization of mopane trees, *Colophospermum mopane*, in Botswana's Northern Tuli Game Reserve. *African Journal of Ecology*, **38**: 95-101.

THIENPONT, D., ROCHETTE, F. & VANPARILS, O.F.J., 1986. *Diagnosing helminthiasis by coprological examination*. Janssen Research Foundation, Belgium, 205p.

VUCETICH, J.A. & CREEL, S., 1999. Ecological Interactions, Social Organization, and Extinction Risk in African Wild Dogs. *Conservation Biology*, **13**(5): 1172-1182.

WARD, M.P., LYNDAL-MURPHY, M. & BALDOCK, F.C., 1997. Evaluation of a composite method for counting helminth eggs in cattle faeces. *Veterinary Parasitology*, **73**: 181-187.

WINTERBACH, H.E.K., 1998. The status and distribution of Cape Buffalo Syncerus caffer caffer in southern Africa. *South African Journal of Wildlife Research*, **28**(3): 82-88.

WOLKERS, J., WENSING, T., GROOT BRUINDERINK, G.W. & SCHONEVILLE, J.T., 1994. Lungworm and stomach worm infection in relation to body fat reserves and blood composition in wild boar (*Sus scrofa*). *The Veterinary Quaterly*, **16**(4): 193-195.

ZAFFARONI, E., CITTERIO, C., SALA, M. & LAUZI, S., 1997. Impact of abomasal nematodes on roe deer and chamois body condition in an alpine environment. *Parassitologia*, **39**(4): 313-317.

ZAR, J.H., 1996. *Biostaistical Analysis* (3rd edition). Prentice Hall, New Jersey, 513p.