

Modélisation de l'occupation de l'espace par les bovins. Applications à l'épidémiologie des trypanosomoses animales

J.F. Michel ^{1,2*} V. Michel ^{1,2} S. de La Rocque ^{1,2}
I. Touré ¹ D. Richard ¹

Mots-clés

Bovins - Modèle - Système d'information - Distribution spatiale - Densité - Trypanosomose - Epidémiologie - Burkina Faso.

Résumé

L'approche suivie au Burkina Faso pour étudier l'épidémiologie des trypanosomoses bovines repose sur l'exploration des relations spatiales entre les hôtes principaux (bétail) et les glossines. A partir d'un recensement exhaustif et géoréférencé des bovins dans une zone de 1 200 kilomètres carrés, une modélisation des déplacements et des zones occupées par les animaux en fin de saison sèche, période d'interfaces maximales, a été effectuée. Basée sur deux points remarquables du parcours des animaux à cette époque, les parcs de nuit et les points d'eau, elle a permis, par manipulation simple de polygones, d'obtenir des cartes de répartition des bovins, à l'échelle de la zone d'étude.

■ INTRODUCTION

Avec le développement des moyens informatiques et de l'analyse spatiale, l'utilisation des cartes ne se limite plus à leur simple interprétation ou comparaison visuelle. Il est désormais possible de mettre en relation spatiale diverses informations et d'appliquer diverses méthodes statistiques pour modéliser et expliquer un phénomène. La cartographie est donc un outil de base précieux pour l'étude de phénomènes à composante spatiale, comme les systèmes parasitaires, en particulier ceux des maladies à transmission vectorielle, comme les trypanosomoses animales.

Ces trypanosomoses représentent une des contraintes pathologiques majeures de l'élevage dans les zones intertropicales d'Afrique où elles sont considérées comme les plus importantes maladies du bétail transmises par des vecteurs (14). Le risque de transmission est lié à l'intensité de rencontres entre les vecteurs de trypanosomes et les bovins. A partir d'études pluridisciplinaires menées au Burkina Faso par le Cirad-emvt **, le Cirde *** et l'Inera ****, une approche innovante de l'épidémiologie des trypanosomoses

bovines, basée sur l'exploration des relations entre les divers acteurs du système pathogène (glossines, trypanosomes, bovins) par la spatialisation d'informations multi-sources (1, 10, 12, 21, 23, 24) et leur intégration dans un système d'information géographique (SIG) (25) est proposée. L'objectif est de mettre en évidence les zones d'interfaces entre glossines et bovins et, à terme, de disposer d'une méthode rapide de diagnostic des situations de risque de trypanosomose à l'échelle d'une petite région (1 200 km²) pour mettre en œuvre des stratégies de lutte adaptées (6, 10, 11, 13, 16).

Le cheptel bovin, hôte et victime des trypanosomes, constitue une couche d'information fondamentale pour l'étude du système parasitaire. Il apparaît donc nécessaire de disposer de cartes de distribution du cheptel. Cependant, la représentation cartographique d'animaux, notamment des bovins en zone tropicale, constitue un paradoxe ; en effet, comment donner une représentation, statique par définition, d'objets mobiles par essence (33) ? Certes, les déplacements locaux et journaliers des bovins peuvent être appréhendés par des points relevés régulièrement (17, 27), mais pour des raisons opérationnelles évidentes, la méthode est peu applicable lorsque le nombre de troupeaux et la taille de la zone d'étude augmentent. Pour intégrer, à partir de quelques points remarquables, les déplacements des bovins dans les représentations cartographiques, une approche alternative de modélisation a été développée.

■ MATERIEL ET METHODES

Zone d'étude et données disponibles

L'étude a été menée dans une partie (1 200 km²) de la zone agropastorale de Sidéradougou, située au sud de Bobo-Dioulasso (Burkina Faso), à 11° de latitude Nord et 4° de longitude Ouest, dans le

1. Cirad-emvt, Campus international de Baillarguet, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex 1, France

2. Cirde, 01 BP 454, Bobo-Dioulasso 01, Burkina Faso

* Auteur pour la correspondance : Le Rieu, 38300 Saint Savin, France
Tél./fax : +33 (0)4 74 28 85 09 ; e-mail : jf.michel@wanadoo.fr

** Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, département d'élevage et de médecine vétérinaire, France

*** Centre international de recherche-développement pour l'élevage en zone subhumide, Burkina Faso

**** Institut de l'environnement et des recherches agricoles, Burkina Faso

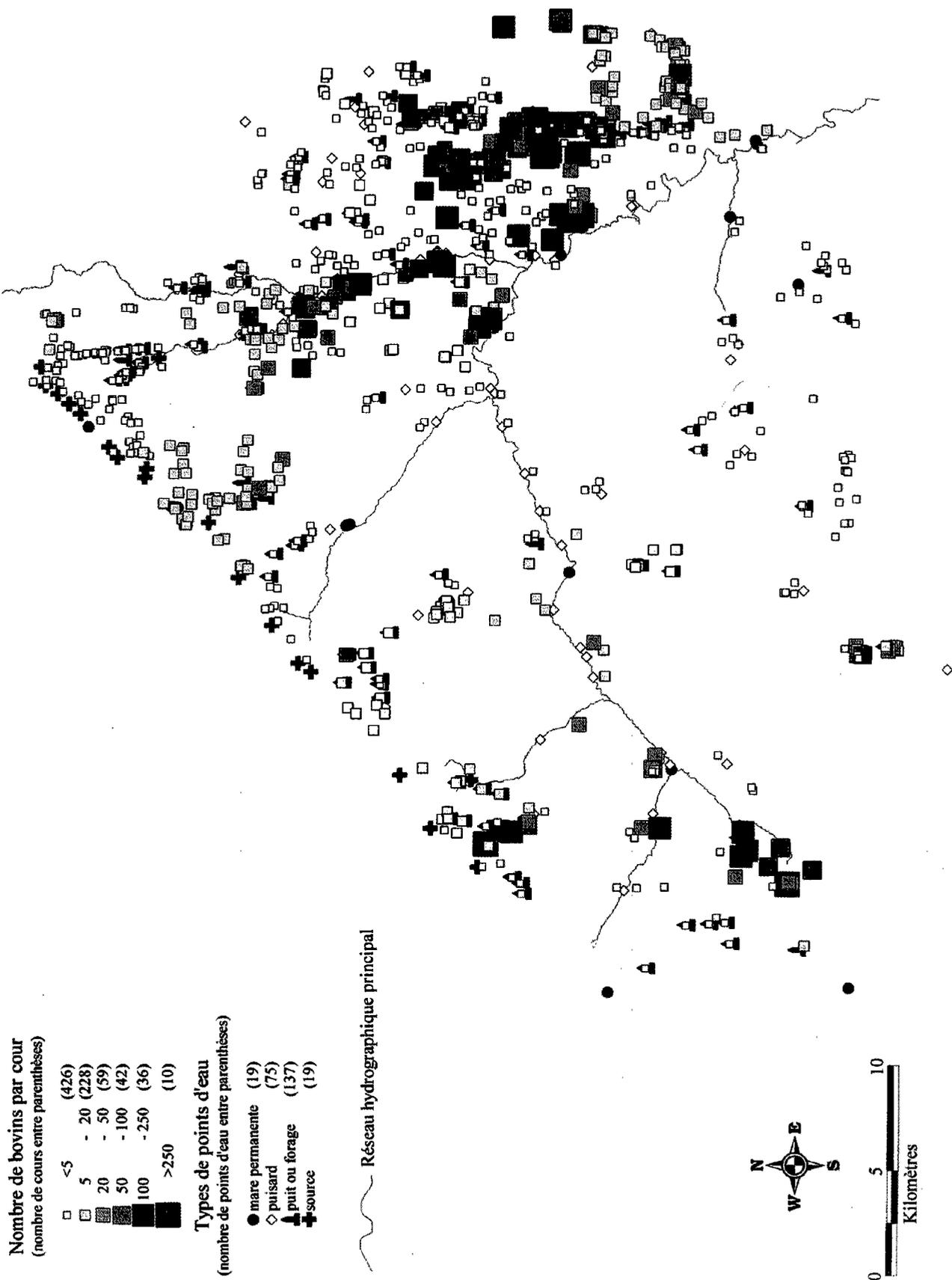


Figure 1 : représentation ponctuelle des cours et des points d'eau.

domaine tropical soudanien (1 000 à 1 100 mm d'eau par an). Elle est peuplée d'agriculteurs autochtones, Bobo et Tiefo, d'éleveurs Peuls et d'agro-éleveurs migrants, majoritairement Mossi.

Un recensement terrestre exhaustif des bovins a été effectué en 1997 à partir des cours ou concessions, qui sont des entités géographiques d'habitation formées d'un ensemble de constructions où cohabitent un ou plusieurs ménages (2) de même sang (24). A chaque cour est rattaché un certain nombre de bovins, correspondant en fait au « troupeau de nuit ». Pour chaque cour, la position géographique, le nombre de bovins, l'emplacement du ou des points d'eau de fin de saison sèche (deux au plus), période où le risque d'infestation est le plus grand, ainsi que d'autres informations thématiques (ethnie des habitants, ancienneté de présence dans la zone, nombre de bovins de trait, type de point d'eau fréquenté, etc.) ont été notés. Seuls les bovins résidant dans la zone, c'est-à-dire liés à une cour de la zone, ont été dénombrés. Les bovins traversant la zone au cours des diverses périodes de transhumance n'ont pas été pris en compte.

Les positions géographiques des cours et des points d'eau ont été relevés par GPS (Global Positioning System, GARMINND). Plus de 800 cours, représentant plus de 16 500 bovins, et 250 points d'eau ont ainsi été répertoriés et positionnés (figure 1). La cartographie brute de ces données souffre de plusieurs inconvénients :

- la superposition qui entraîne un manque de lisibilité de l'information ;
- le caractère ponctuel des données ;
- les liaisons non visualisées entre les cours et les points d'eau fréquentés par les bovins, qui ne permettent par conséquent aucune représentation des déplacements locaux de ces bovins en fin de saison sèche ;
- la mise en relation difficile avec les autres couches d'informations, notamment les zones de présence des glossines, par défaut de forme (les données relatives aux glossines sont surfaciques alors que celles concernant les bovins sont ponctuelles).

Pour pouvoir utiliser au mieux les résultats du recensement et mettre en évidence des relations spatiales entre hôtes et vecteurs de la trypanosomose, il a paru nécessaire de modifier et d'améliorer cette représentation de la répartition des bovins en intégrant leurs déplacements à partir des points relevés (cours et points d'eau).

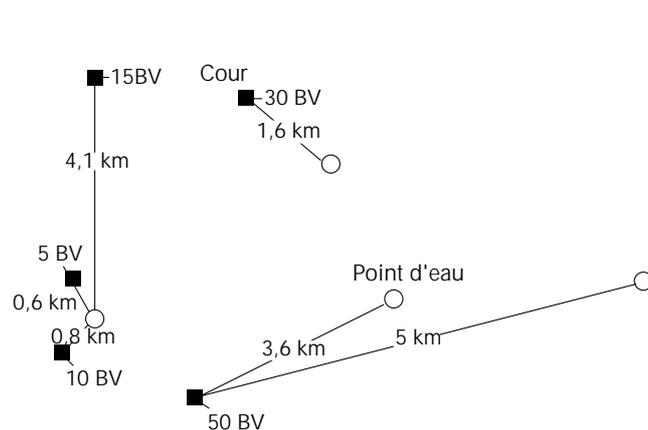


Figure 2 : traçage des trajectoires cour-point d'eau.

Modélisation

Les bovins, au cours de leurs déplacements quotidiens, passent obligatoirement par deux points remarquables : la cour, correspondant au lieu de stabulation, et au moins un point d'eau. En saison des pluies, les points d'eau temporaires sont nombreux et le choix du parcours est dicté principalement par la recherche de fourrage. En fin de saison sèche, la contrainte principale devient l'abreuvement (3, 5, 22) et les points d'eau pérennes, généralement peu nombreux, deviennent, d'après Benoît, « les points d'appui uniques de l'espace pastoral » (4). Dans cette zone, ces points d'eau sont essentiellement des portions de réseau hydrographique encore en eau, des puisards (trous creusés dans les bas-fonds), des puits, des forages ou des sources naturelles.

Une première amélioration de la représentation ponctuelle des données consiste à tracer une trajectoire fictive des bovins en reliant chaque cour (point de départ des bovins) avec le ou les points d'eau fréquentés en fin de saison sèche (point d'arrivée, sinon de passage, des bovins) (figure 2). Ces trajectoires ne correspondent pas aux parcours réels des bovins mais plus à leur axe de déplacement, axe qui est insignifiant lorsque le point d'eau (généralement un puits familial) se situe dans la cour. La zone autour de cet axe correspond alors à une « zone d'influence » ou zone de présence très probable des bovins au cours de la journée, en fin de saison sèche.

Cette modélisation repose par conséquent sur deux principes appliqués à cette zone de parcours soudaniens d'Afrique de l'Ouest :

- le déplacement des bovins en fin de saison sèche s'organise essentiellement en fonction des ressources en eau ;
- les bovins se répartissent plus ou moins largement autour de cet axe de trajectoire cour-point d'eau.

Le point critique du modèle réside dans le choix de la forme et de la taille des polygones représentant, pour chaque cour, la zone d'influence du troupeau.

La forme choisie correspond à un polygone, de forme oblongue, dont seule la largeur est paramétrable (figure 3). La détermination de cette largeur repose sur deux hypothèses concernant la distance entre la cour et le point d'eau et le nombre de bovins :

- les bovins sont d'autant plus proches de l'axe de la trajectoire que la distance entre la cour et le point d'eau est importante (le polygone devient plus étroit avec l'éloignement du point d'eau) ;

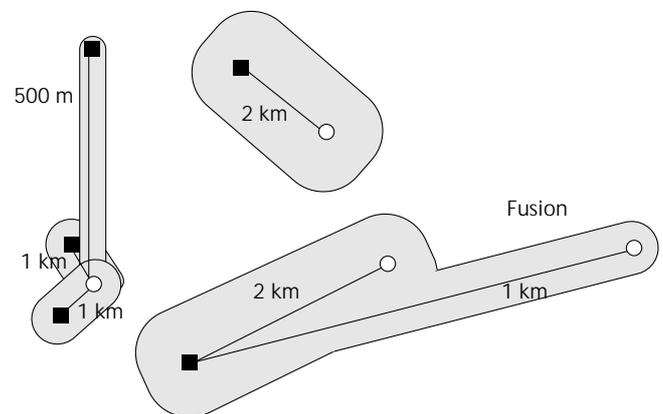


Figure 3 : traçage et fusion des polygones de zone d'influence des bovins.

- les bovins se répartissent d'autant plus largement autour de leur trajectoire que leur nombre est important (le polygone devient plus large quand le nombre de bovins augmente).

La seule contrainte dans le choix des dimensions des polygones est qu'ils soient suffisamment étroits pour ne pas trop diluer l'information, tout en demeurant proches de la réalité. Une étude des parcours réels des bovins en fin de saison sèche, sur un échantillon représentatif selon ces deux critères (éloignement du point d'eau et nombre de bovins dans le troupeau), a été réalisée pour valider les hypothèses (19). Ainsi, les parcours de 28 troupeaux ont été déterminés en relevant par GPS les positions géographiques des points de changement de direction.

Les polygones définis et validés sont ensuite appliqués à chaque cour et, dans le cas où les bovins d'une cour fréquentent plusieurs points d'eau, ils sont fusionnés en un seul polygone, auquel est affecté le nombre de bovins recensés dans cette cour (figure 3). Par ailleurs, étant donné que ce sont les déplacements de fin de saison sèche qui sont modélisés et que certains animaux ne sont plus présents à cette époque dans la zone car ils transhument, le nombre de bovins affecté aux polygones de ces troupeaux est corrigé. Une étude des systèmes d'élevage sert de base à cette correction des effectifs (6, 18). D'après cette étude, en plus d'un certain nombre de bovins, les propriétaires conservent généralement dans leur cour les femelles en lactation. Les corrections appliquées sont présentées dans le tableau I.

Agrégation des données

Les polygones de zone d'influence obtenus par la modélisation intègrent bien les déplacements réels des animaux. Cependant, à la manière des représentations obtenues avec les seules données ponctuelles, ils peuvent se superposer et masquer l'information située dessous. Pour synthétiser cette information, peu lisible et peu utilisable en l'état, il est nécessaire d'en faire une agrégation pour passer à une échelle plus petite : de l'unité d'enquête (la cour) à l'échelle de la zone d'étude. La méthode utilisée s'apparente à celle mise en place par le groupe Cassini (26) pour synthétiser des données spatiales. Un carroyage ou maillage régulier va permettre de réduire l'échelle, par l'intermédiaire d'une requête spatiale de projection et de somme des polygones de zones d'influence sur chaque unité de ce carroyage (figure 4). Selon les informations projetées et les opérateurs de projection, diverses représentations sont obtenues comme suit :

- si le nombre total de bovins rattachés à un polygone de zone d'influence est affecté à tous les carrés du maillage touchant ce polygone, la projection de tous les polygones de zones d'influence génère une carte de densité de fréquentation de l'espace par les bovins (figure 4). Le nombre de bovins dans chaque carré du maillage correspond au nombre maximal de bovins susceptibles de fréquenter ce carré. Cette représentation ne correspond à aucune réalité (les bovins ne sont pas tous à la fois dans tous les carrés du maillage), mais à une fréquentation potentielle, particulièrement intéressante pour évaluer l'intensité du contact entre les bovins et les zones de présence des glossines ;

- si c'est la densité des bovins dans le polygone de zone d'influence (obtenue en divisant le nombre de bovins par la surface du polygone) qui est projetée sur le carroyage, alors la projection engendre une carte de densité vraie.

L'information présentée sur un seul plan est donc plus lisible. Cependant, elle est plus ou moins diluée selon la taille des carrés

Tableau I

Correction des effectifs pour les troupeaux transhumants

Nb. de bovins initial	Moins de 50	50 à 100	Plus de 100
Nb. de bovins corrigé	0	20	30

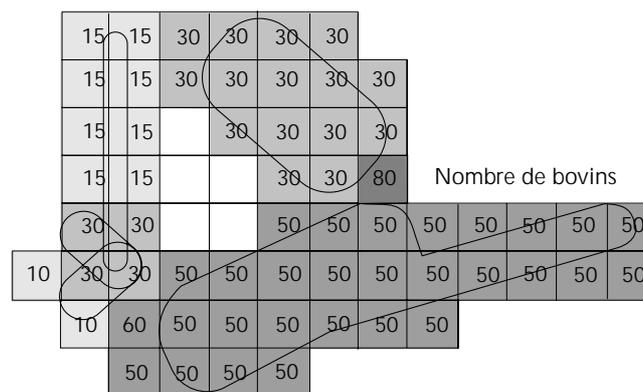


Figure 4 : projection des polygones sur un carroyage régulier, fréquentation de l'espace par les bovins.

constituant le maillage (l'information est d'autant plus diluée et faussée que la taille des carrés est importante). Le choix de la taille des carrés est alors important. Il est guidé par deux contraintes :

- celle de minimiser la dilution et la perte de l'information ;
- celle des limites de calcul de l'ordinateur, rapidement atteintes lorsque le maillage est très fin.

Le choix se fait à partir de ces contraintes, selon la pertinence de la représentation attendue pour les utilisations ultérieures. Un maillage grand est facile à réaliser (calculs rapides) mais dilue trop l'information dans l'espace : toute la zone est recouverte de bovins. Inversement, un maillage très petit est lourd à réaliser techniquement (limites informatiques), mais donne une image juste des polygones de zone d'influence des bovins. Sachant que ces polygones sont déjà issus d'une modélisation (qui schématise une réalité), il n'est pas vraiment intéressant de les représenter très fidèlement et de conserver toute l'information. Le meilleur compromis semble être atteint pour des carrés variant de 500 m à 1 km de côté. Le choix dans cet intervalle dépend de la précision nécessaire à l'utilisation ultérieure de cette couche « bétail ».

■ RESULTATS

Validation de la modélisation

Les résultats obtenus lors du protocole de validation de la modélisation, par suivi de troupeaux et détermination des parcours réels, sont présentés dans la figure 5. Dans la très grande majorité des cas, le parcours réel des animaux est englobé dans le polygone issu de la modélisation de ce parcours, notamment lorsque le point d'eau fréquenté est situé loin de la cour d'origine. En revanche, lorsque le point d'eau et la cour sont très proches il peut y avoir incohérence entre la modélisation et les déplacements réels, comme c'est le cas pour un troupeau (figure 5).

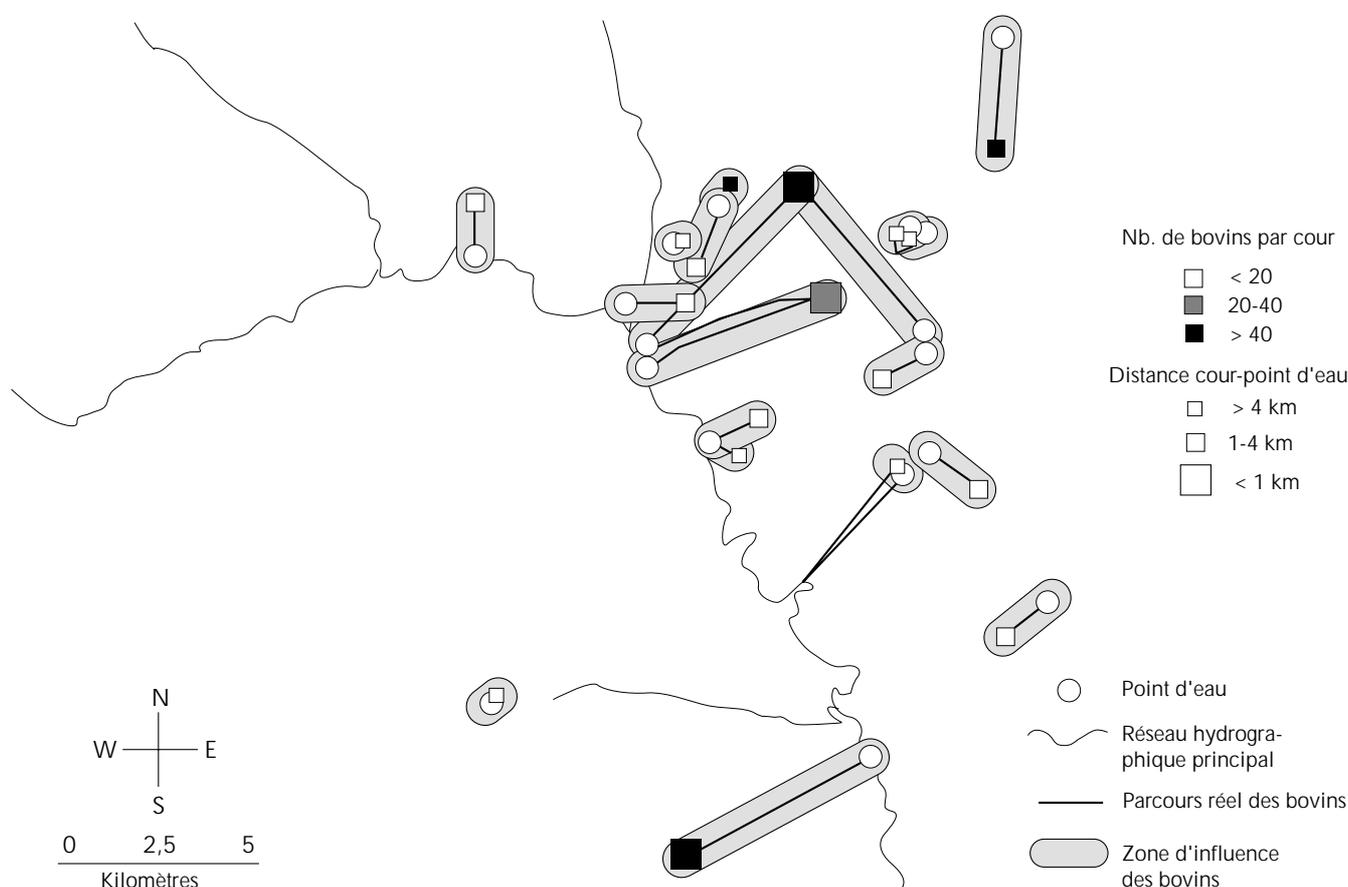


Figure 5 : validation de la modélisation, comparaison des parcours réels et des zones d'influence des bovins.

Néanmoins, ce protocole permet de valider la taille des polygones de zone d'influence (tableau II) qui correspondent largement à la réalité observée et restent suffisamment petits, limitant ainsi les pertes d'information par dilution dans l'espace.

Projection et représentation finale

La représentation obtenue par projection de la modélisation des déplacements sur un carroyage de 500 m de côté, soit 0,25 km², en utilisant l'effectif total et l'opérateur de somme, correspond à la fréquentation potentielle de l'espace par les bovins en fin de saison sèche (figure 6).

A titre de comparaison, la même méthode d'agrégation de données spatiales par projection sur un carroyage a été appliquée directement aux cours positionnées lors du recensement, c'est-à-dire aux données ponctuelles, et le nombre de bovins des cours présentes dans chaque carré a été sommé. Cette représentation correspond donc à la densité de bovins dans les points de stabulation, mais en aucun cas à l'espace potentiellement fréquenté par les bovins puisqu'elle ne tient pas compte des déplacements des animaux (figure 7).

Pour étudier les interfaces entre les glossines et les bovins, il est capital de connaître l'espace maximal fréquenté par les bovins, et ce de manière quantitative, c'est-à-dire de connaître le nombre de bovins pouvant fréquenter une zone donnée. Sachant que seules deux espèces de glossines ripicoles (*Glossina palpalis* et *Glossina tachinoides*) sont présentes dans la zone de l'étude, leur localisation correspond grossièrement au réseau hydrographique principal figuré sur les cartes (10). L'intérêt de la modélisation des déplacements des bovins et de son intégration dans les représentations cartographiques par projection (figure 6) pour l'étude des interfaces

Tableau II

Stratification de la population et largeur des polygones

Distance cour-point d'eau	Moins de 4 km		Plus de 4 km	
	< 20	> 20	< 40	> 40
Nb. de bovins	< 20	> 20	< 40	> 40
Largeur du polygone	1 km	2 km	500 m	1 km

géographiques entre glossines et bovins apparaît alors nettement, puisque les recouvrements entre les deux espaces (glossines sur le réseau hydrographique et bovins) sont bien plus importants après la modélisation (figure 6) qu'avant (figure 7). Par ailleurs, la prise en compte des déplacements des animaux donne une vision plus réaliste de leur répartition qu'une simple représentation ponctuelle de leurs lieux de parage de nuit.

■ DISCUSSION

Le choix de la taille des polygones représentant les déplacements et l'espace occupé par les bovins constitue le point critique de cette modélisation qui révèle ses limites quand les cours et les points d'eau sont très proches, comme c'est le cas pour un troupeau (figure 5), qui peut s'expliquer par des effets d'enquête. Cependant, le modèle est validé globalement par l'enquête sur les parcours, mais ce n'est qu'une validation interne et il serait souhaitable de valider plus largement les représentations obtenues par un protocole de comptage qui prendrait en compte non seulement le point de stabulation des

■ PATHOLOGIE PARASITAIRE

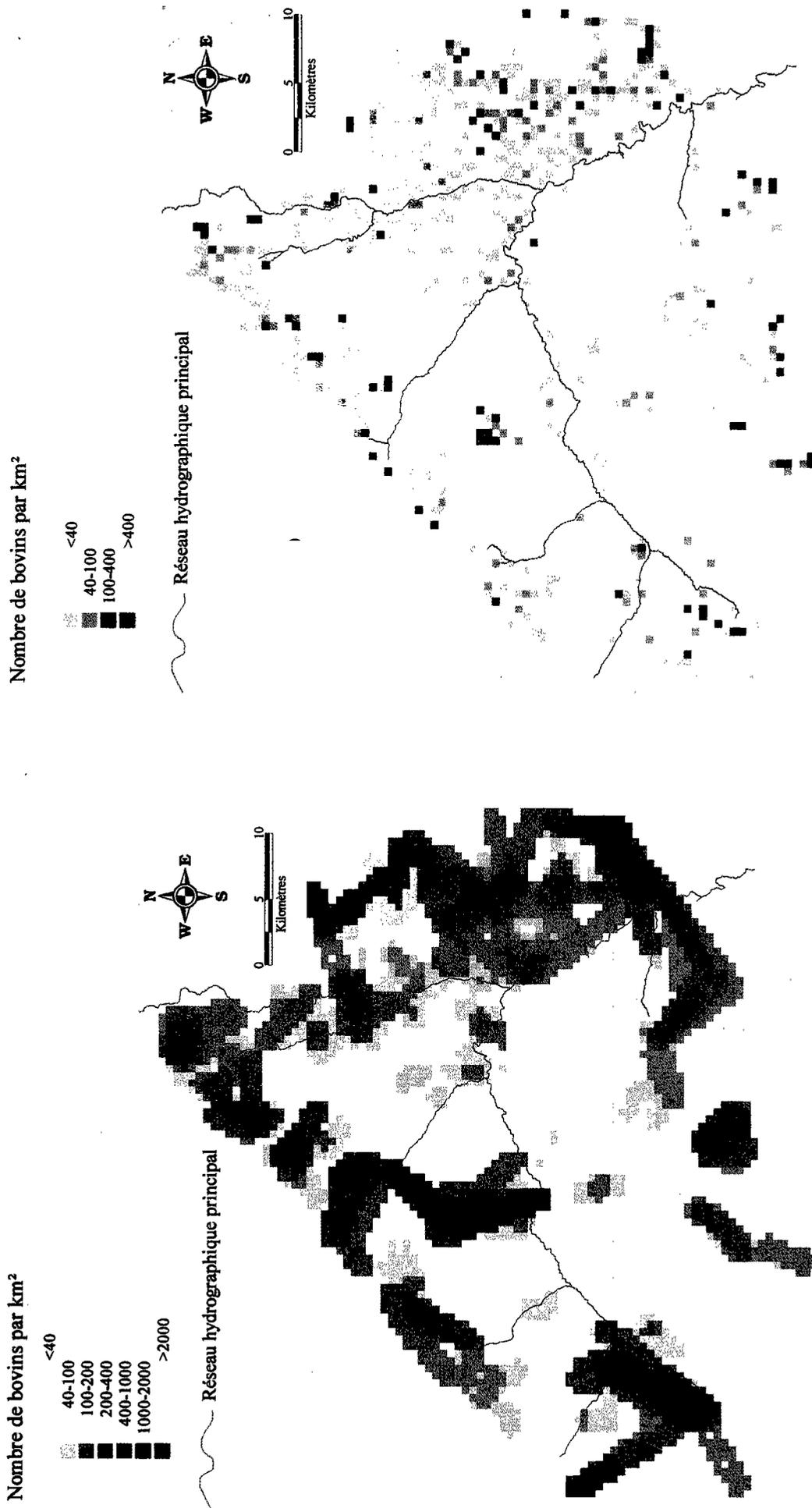


Figure 6 : densité de fréquentation de l'espace par les bovins, après modélisation des déplacements.

Figure 7 : densité ponctuelle de bovins, après modélisation des déplacements.

troupeaux, mais aussi leur localisation dans l'espace au cours de la journée. De plus, ce changement d'unité d'enquête permettrait d'éclaircir le rapport entre « troupeau de nuit » (unité d'enquête du recensement effectué) et « troupeau de jour », et d'évaluer les effets de regroupement ou de fragmentation des troupeaux de nuit en troupeaux de jour correspondant aux unités de conduite sur les parcours. Pour cela, un dénombrement aérien exhaustif, avec positionnement par GPS des troupeaux de jour survolés, a été effectué sur une partie de la zone de l'étude (440 km²). Les résultats obtenus sont en cours de traitement.

Pour améliorer le modèle, il est envisageable d'introduire des contraintes spatiales dans le tracé des zones d'influence des bovins, comme le relief, les obstacles naturels ou sociaux (notons que les espaces cultivés ne sont pas une contrainte en fin de saison sèche puisqu'ils sont libres d'accès). Cependant, la projection gommerait certainement les petites variations de forme des polygones induites par la prise en compte de ces contraintes. En outre, le modèle, en gagnant en complexité, perdrait probablement de sa robustesse et surtout de sa facilité d'application.

Par ailleurs, cette modélisation a été effectuée pour des déplacements de fin de saison sèche pour plusieurs raisons :

- l'abreuvement est la contrainte principale et les déplacements sont dictés essentiellement par les points d'eau, généralement peu nombreux et faciles à repérer. Il est donc logique de s'appuyer sur ces points pour appréhender les déplacements des animaux ;

- la densité des glossines ripicoles présentes dans la zone est la plus faible de l'année, mais elles sont concentrées dans les quelques habitats favorables qui perdurent et qui correspondent aussi aux points d'abreuvement des bovins. C'est la période de l'année où la taille des zones de rencontre potentielle entre les glossines et les bovins est la plus réduite mais où les contacts sont les plus intenses. De ce fait, c'est certainement une des périodes les plus dangereuses pour la transmission de la maladie à cause de la fréquence plus élevée des piqûres, du cycle plus rapide de maturation et de transmission des trypanosomes et de la plus grande sensibilité du bétail due à l'affaiblissement de son état général (8, 20, 30).

- c'est la période d'efficacité maximale des interventions de lutte puisque la densité des glossines dans le milieu est minimale et que l'aire de répartition des glossines est la plus réduite. Les surfaces à traiter sont minimales et les doses d'insecticides réduites puisque les pertes par lessivage lors des pluies sont très faibles.

La fin de la saison sèche constitue une période clé pour l'étude des contacts hôtes-vecteurs et l'identification des zones où ils se produisent. Au cours des autres périodes de l'année, les contraintes de milieu (zones cultivées, abondance de l'eau) sont très différentes et les modèles de déplacement basés sur une trajectoire cour-point d'eau ne sont vraisemblablement plus réalistes.

■ CONCLUSION

La démarche décrite permet de représenter la répartition d'un effectif bovin dans l'espace à partir d'un nombre relativement faible de données ponctuelles (deux points par troupeau recensé). Elle ne prétend pas donner une représentation exacte de la réalité, mais permet de s'en approcher, ou du moins d'obtenir une meilleure représentation que la simple cartographie des points relevés. En revanche, cette représentation offre directement et indirectement des opportunités intéressantes d'exploitation : directement, car elle permet de mieux appréhender les informations concernant les bovins en améliorant la lecture des cartes ; indirectement, car elle est homogène dans sa forme et présente d'autres couches d'informations (réseau hydrographique, présence des glossines, cultures) auxquelles elle pourra être

reliée dans un système d'information géographique. Comme toute modélisation, cette démarche est réductrice, et ce d'autant plus que le phénomène modélisé est très variable dans le temps et dans l'espace. Néanmoins, son objectif principal est de produire, d'une part, une représentation de la présence des bovins à l'échelle d'une zone d'étude, d'autre part, une représentation compatible avec la cartographie des glossines obtenue par ailleurs (10) pour croiser ces deux couches d'informations et identifier les zones de risque d'infestation pour les bovins. Celles-ci constitueront alors la cible privilégiée des opérations de lutte contre les vecteurs. L'identification de ces zones à risque a été effectuée et devrait faire l'objet d'une prochaine publication. Concernant les maladies à vecteurs, cette approche du bétail est indispensable et originale, puisque l'épidémiologie a besoin de prendre en compte la composante spatiale relative aux animaux et à leurs déplacements qui ne sont pas toujours limités par les frontières du pays (15, 29, 34).

L'utilisation et l'intérêt de cette couche d'information spatialisée sur le bétail doivent se concevoir à cette échelle et pour cet objectif. Il n'est pas question, en l'état, de s'appuyer sur ces représentations pour étudier les pratiques de conduite des animaux sur les parcours ou pour évaluer finement les rapports entre biomasses animale et végétale. Néanmoins, le schéma de cette modélisation peut constituer un canevas plus général pour représenter l'espace fréquenté par les bovins. Selon les objectifs et l'échelle de l'étude, les polygones de zones d'influence des bovins pourront être modifiés et affinés, en leur donnant par exemple une forme annulaire en « huit » ou triangulaire, plus conformes à la réalité de l'occupation de l'espace dans certaines situations (17).

L'intégration des déplacements des animaux par la transformation d'une information ponctuelle en une information continue dans l'espace permet d'ouvrir un nouveau champ d'exploration des données concernant le bétail, comme la recherche d'indicateurs spatiaux de la présence des bovins ou l'étude des modes d'agrégation des animaux ou des groupes d'animaux en fonction du milieu. Par ailleurs, cette réflexion sur la transformation des données peut être prolongée et adaptée plus largement à d'autres thématiques.

La spatialisation des données et leur intégration dans des systèmes d'information géographique constituent un nouvel outil de diagnostic de situations très variées par visualisation pratique de données géoréférencées sur le bétail, qui intéressent le chercheur mais aussi le développeur (9, 31, 32). Les possibilités de mise en relation de diverses informations spatialisées offrent un moyen méthodologique efficace pour étudier l'épidémiologie de diverses pathologies à transmissions directe ou indirecte (16, 28), mais aussi pour comprendre les interactions élevage-environnement, ou l'effet de divers facteurs anthropiques et environnementaux sur la distribution du bétail (31). Dans un contexte d'intégration croissante entre l'agriculture et l'élevage (7), l'exploration quantifiée des relations spatiales entre ces deux activités constitue un outil prometteur de diagnostic de situation sur les systèmes de production agricole.

Remerciements

Les auteurs remercient le Cirad (Action thématique programmée n° 70/96), le Cnrs (programme interdisciplinaire : Environnement, vie et sociétés n° 96/6/12) et la Coopération française qui ont apporté leur soutien à ce travail. Ils remercient également le docteur D. Cuisance, le docteur S.M. Touré, directeur du Cirdes au Burkina Faso, et le personnel du centre pour leur appui et leur soutien. Leur reconnaissance s'adresse également à Monsieur V. Bado chef du programme Gestion des ressources naturelles et systèmes de production de l'Ouest de l'Inera, ainsi qu'aux chercheurs de la station de Farako Bâ, notamment Messieurs S. Ouedraogo et A. Lalba.

BIBLIOGRAPHIE

1. AUGUSSEAU X., PARE S., FARE B., 1998. Caractérisation régionale de l'emprise agricole et de sa dynamique dans une zone de migration. Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, Inera, 19 p.
2. BAHILI J., BAKARY D., 1993. L'enquête nationale sur les effectifs du cheptel au Burkina Faso. *STATECO*, **73** : 49-62.
3. BENOIT M., 1979. Le chemin des Peuls du Boobola : contribution à l'écologie du pastoralisme en Afrique des savanes. Paris, France, Orstom, 208 p.
4. BENOIT M., 1997. Introduction à la géographie des aires pastorales soudaniennes de Haute-Volta. Paris, France, Orstom, 95 p.
5. BOUTRAIS J., 1994. Eleveurs, bétail et environnement. In : A la croisée des parcours, pasteurs, éleveurs, cultivateurs. Paris, France, Orstom, p. 304-319.
6. CUISANCE D., DE LA ROCQUE S., 1998. Tsé-tsé et trypanosomes : du système pathogène à l'évaluation du risque. Montpellier, France, Cirad-emvt/Cnrs, 91 p.
7. D'AQUINO P., LHOSTE P., LE MASSON A., 1994. Systèmes de production mixtes agriculture pluviale et élevage en zone humide et sub-humide d'Afrique. Maisons-Alfort, France, Cirad-emvt, 90 p.
8. DAVIES H., 1967. Tsetse flies in Northern Nigeria. Ibadan, Nigeria, Ibadan University Press, 268 p.
9. DE HAAN C., STEINFELD H., BLACKBURN H., 1997. Livestock and the environment. Finding a balance. Brussels, Belgium, EU, 115 p.
10. DE LA ROCQUE S., 1997. Facteurs discriminants majeurs de la présence des glossines dans une zone agropastorale du Burkina Faso. Intérêt dans la prévision du risque trypanosomien. Thèse Doct., Université Montpellier II, Montpellier, France, 213 p.
11. DE LA ROCQUE S., CUISANCE D., 1997. Facteurs discriminants de la présence de glossines au Burkina Faso. In : Proc. VIIIth International Symposium on Veterinary Epidemiology and Economics, Paris, France, 8-11 July 1997. *Epidémiol. Santé Anim.*, n° spécial : 31-32.
12. DE LA ROCQUE S., LEFRANCOIS T., REIFENBERG J.M., SOLANO P., KABORE I., BENGALY Z., AUGUSSEAU X., CUISANCE D., 1997. PCR analysis and spatial repartition of trypanosomes infecting tsetse flies in Sideradougou area (Burkina Faso). In: Biennial Meeting of the Society for Tropical Veterinary Medicine, Montpellier, France, 5-9 May 1997. Montpellier, France, Cirad, 11 p.
13. DE LA ROCQUE S., MICHEL J.F., 1997. SIG comme outil dans l'étude et la lutte contre la trypanosomose animale africaine. In : Actes du séminaire conjoint Cirdes-Ilri-Irc/Snra, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, avril 1997. Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, Cirdes.
14. FAO, 1994. Approche systématique de la lutte contre la mouche tsé-tsé et la trypanosomiase. Rome, Italie, FAO, 195 p.
15. HENDRICKX G., ROGERS D., NAPALA A., SLINGENBERGH J.H.W., 1995. Predicting the distribution of riverine tsetse and the prevalence of bovine trypanosomiasis in Togo using ground-based and satellite data. In : 22^e réunion du Conseil scientifique international pour la recherche et la lutte contre les trypanosomiasis (CSIRLT), Kampala, Ouganda, 1993, OUA/CSTR.
16. HENDRICKX G., SLINGENBERGH J.H.W., DAO B., BASTIAENSEN P., NAPALA A., 1997. Système d'information géographique (SIG), outil puissant de prise de décision. In : 24^e réunion du Conseil scientifique international pour la recherche et la lutte contre les trypanosomiasis (CSIRLT), Maputo, Mozambique, 1997, OUA/CSTR.
17. ICKOWICZ A., RICHARD D., USENGUMUREMYI J., 1999. Computing of grazing pressure to estimate organic matter flows from cattle on Senegalese villages. In: Sixth International Rangeland Congress, "People and rangelands - Building the future", Townsville, Australia, 18-23 July, 1999. (in press)
18. INERA, 1997. Etude des systèmes d'élevage de la zone de Sideradougou. Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, Inera/Cirdes/Cirad, 60 p.
19. INERA, 1998. Etude des systèmes d'élevage de la partie Nord de la ZAP de Sideradougou. Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, Inera/Cirdes/Cirad, 28 p.
20. ITARD J., TRONCY P.M., MOREL P.C., 1981. Précis de parasitologie vétérinaire tropicale. Paris, France, Ministère de la coopération et du développement, 717 p. (Coll. Manuels et précis d'élevage n° 10)
21. LEFRANCOIS T., SOLANO P., DE LA ROCQUE S., BENGALY Z., REIFENBERG J.M., KABORE I., CUISANCE D., 1998. New epidemiological features on animal trypanosomosis by molecular analysis in the pastoral zone of Sideradougou, Burkina Faso. *Mol. Ecol.*, **7**: 897-904.
22. LHOSTE P., DOLLE V., ROUSSEAU J., SOLTNER D., 1993. Manuel de zootechnie des régions chaudes. Les systèmes d'élevage. Paris, France, Ministère de la coopération, 288 p. (Coll. Manuels et précis d'élevage)
23. MEALLET C., 1997. Recensement et cartographie du cheptel bovin dans la zone de Sideradougou (Burkina Faso). Maisons-Alfort, France, Ecole nationale vétérinaire, 61 p.
24. MICHEL J.F., 1997. Recensement du cheptel bovin dans le cadre de l'ATP Santé-environnement. Montpellier, France, Cirad-Emvt, 11 p.
25. MICHEL V., 1998. Spatialisation du risque trypanosomien dans la zone agropastorale de Sideradougou (Burkina Faso) : pour une méthode d'intégration de données multi-sources dans un SIG. Mémoire DEA, Université Paris X, Nanterre, France, 52 p.
26. RAYNAL L., DUMOLARD P., D'AUBIGNY G., WEBER C., RIGAUX P., SCHOLL M., LARCENA D., 1996. Gérer et générer des données spatiales hiérarchisées. *Revue int. Géomatique*, **6** : 365-382.
27. RICHARD D., POUYE B., BLANFORT V., AHOKPE B., 1992. Estimation des surfaces utilisées au pâturage par les ruminants dans une zone agropastorale soudanienne (Moyenne Casamance, Sénégal). In : Gibon A., Matheron G. ed., Actes du symposium Approche globale des systèmes d'élevage et étude de leurs niveaux d'organisation : concepts, méthodes et résultats, Toulouse, France, juillet 1990. Luxembourg, Lux., Office des publications officielles des communautés européennes, p. 333-339.
28. ROBINSON T., 1997. La base de données intégrées sur la maladie et le vecteur. In : 24^e réunion du Conseil scientifique international pour la recherche et la lutte contre les trypanosomiasis (CSIRLT), Maputo, Mozambique, 1997, OUA/CSTR.
29. ROGERS D., WINT W., 1996. Towards identifying priority areas for tsetse control in East Africa. Rome, Italy, FAO, 46 p.
30. ROWLANDS G.J., MULATU W., AUTHIE E., D'ETEREN G.D.M., LEAK S.G.A., NAGDA S.M., PEREGRINE A.S., 1993. Epidemiology of bovine trypanosomiasis in the Ghibe valley, southwest Ethiopia. 2. Factors associated with variations in trypanosome prevalence, incidence of new infections and prevalence of recurrent infections. *Acta trop.*, **53**: 135-150.
31. SLINGENBERGH J.H.W., WINT W., 1997. Livestock geography and land use. In: International Conference on Livestock and Environment, FAO, World Bank, International Agricultural Centre in the Netherlands, Wageningen, the Netherlands, 1997.
32. TACHER G., JAHNKE H.E., ROJAT D., KEIL P., 1988. Livestock development and economic productivity in tsetse infested Africa. In: Proc. Meeting on Livestock Production in Tsetse Affected Areas of Africa, Ilca-Cirad, Nairobi, Kenya, 23-27 November 1987.
33. VISSAC B., 1994. Mouvements et mémoire de l'élevage. In : Blanc-Pamard C., Boutrais J. ed., A la croisée des parcours : pasteurs, éleveurs, cultivateurs. Paris, France, Orstom, p. 79-108.
34. WINT W., ROGERS D., ROBINSON T., 1997. Ecozones, farming systems and priority areas for tsetse control in East, West et South Africa. Rome, Italy, FAO, 44 p.

Reçu le 15.12.98, accepté le 26.5.99

Summary

Michel J.F., Michel V., de La Rocque S., Touré I., Richard D.
Modeling cattle land use. Applications to the epidemiology of animal trypanosomoses

In order to study the epidemiology of bovine trypanosomoses in Burkina Faso, the authors explored spatial relations between main hosts (cattle) and tsetse flies. An exhaustive georeferenced census of cattle located within a 1200 square kilometer area enabled modeling cattle moves and land use at the end of the dry season, when the animals interface the most with tsetse flies. Based on two remarkable points, i.e. night pens and water sources, on the animals' path at this period cattle distribution maps were established at the scale of the study area by simply moving polygons.

Key words: Cattle - Model - Information system - Spatial distribution - Density - Trypanosomosis - Epidemiology - Burkina Faso.

Resumen

Michel J.F., Michel V., de La Rocque S., Touré I., Richard D.
Modelización del uso del espacio por los bovinos. Aplicaciones a la epidemiología de las tripanosomosis animales

El enfoque seguido en Burkina Faso para el estudio de la epidemiología de las tripanosomosis bovinas, se basa en la exploración de las relaciones espaciales entre los principales huéspedes (ganado) y las glosinas. A partir de un censo exhaustivo y con referencias geográficas de los bovinos en una zona de 1200 kilómetros cuadrados, se realizó una modelización de los desplazamientos y de las zonas ocupadas por los animales al final de la estación seca, período de interfaces máximas. Esta permitió, por simple manipulación de polígonos y en base a dos puntos evidentes del curso de los animales en esta época, los parques de noche y las fuentes de agua, la obtención de mapas de distribución de los bovinos, en la escala de la zona estudiada.

Palabras clave: Ganado bovino - Modelo - Sistema de información - Distribución espacial - Densidad - Trypanosomosis - Epidemiología - Burkina Faso.