Modélisation de «paysage épidémiologiquement dangereux» par télédétection et SIG

V. Michel, S. de La Rocque, J.-F. Michel, G. De Wispelaere, I. Touré, X. Augusseau, D. Cuisance

Citer ce document / Cite this document :

Michel V., de La Rocque S., Michel J.-F., De Wispelaere G., Touré I., Augusseau X., Cuisance D. Modélisation de «paysage épidémiologiquement dangereux» par télédétection et SIG. In: L'information géographique, volume 65, n°1, 2001. pp. 73-80;

doi : <https://doi.org/10.3406/ingeo.2001.2738>

https://www.persee.fr/doc/ingeo_0020-0093_2001_num_65_1_2738

Fichier pdf généré le 09/05/2018

Résumé

Les trypanosomoses animales, transmises par les glossines (mouches tsé-tsé), constituent un enjeu de santé majeur en Afrique sub-saharienne. Les composantes spatiales des acteurs du système pathogène (hôte-vecteur-parasite) constituent le socle sur lequel repose le risque de transmission de la maladie. Une démarche originale de cartographie des densités de glossines et de bovins appliquée à une zone agro-pastorale du sud du Burkina Faso est mise en place, à partir de données de télédétection et à l'aide d'un système d'information géographique (SIG). Les biotopes des glossines sont replacés dans leur environnement au sein de «paysages» repérés sur l'image satellite. Les déplacements des troupeaux sont modélisés pour obtenir une carte de fréquentation de l'espace. Le croisement de ces informations aboutit à une modélisation de «paysages épidémiologique- ment dangereux», localisés et identifiés dans une perspective de lutte ciblée contre le vecteur et la maladie.

Abstract

In sub-Saharan Africa, trypanosomosis continue to be a major threat to animal health. They are transmitted by tsetse flies, and the risk of transmission depends on the spatial relations between the different elements of the pathogenic system (host-vector-parasite). Health/Environment relations were studied in an agro-pastoral area of Burkina Faso by collecting georeferenced information on parasitic, agro-ecological and socio-economic systems ; these data were examined with a Geographic Information System (GIS). An original cartographic method was applied to tsetse and cattle densities, using remote sensing and field data. High spatial resolution remote sensing tools and original modelling methods were used to detect the valley landscapes most favourable to tsetse flies and to describe land use by herds. The impact of trypanosomes appeared to depend largely on animal movements, watering practices and the degree of contact with riparian tsetse flies. Linkage of this spatial information allowed to identify "high-risk meeting points" and to target the vector control.

Modélisation de « paysages épidémiologiquement dangereux » par télédétection et SIG

Évaluation du risque trypanosomien pour le bétail dans la zone de Sidéradougou (Burkina Faso)

V. Michel ^{1,2,3}, S. de La Rocque ^{2,3}, J.-F. Michel ^{2,3},
G. De Wispelaere ², I. Touré ^{2,4}, X. Augusseau ^{3,5}, D. Cuisance ²

Les trypanosomoses animales, transmises par les glossines (mouches tsé-tsé), constituent un enjeu de santé majeur en Afrique sub-saharienne. Les composantes spatiales des acteurs du système pathogène (hôte-vecteur-parasite) constituent le socle sur lequel repose le risque de transmission de la maladie. Une démarche originale de cartographie des densités de glossines et de bovins appliquée à une zone agro-pastorale du sud du Burkina Faso est mise en place, à partir de données de télédétection et à l'aide d'un système d'information géographique (SIG). Les biotopes des glossines sont replacés dans leur environnement au sein de « paysages » repérés sur l'image satellite. Les déplacements des troupeaux sont modélisés pour obtenir une carte de fréquentation de l'espace. Le croisement de ces informations aboutit à une modélisation de « paysages épidémiologiquement dangereux », localisés et identifiés dans une perspective de lutte ciblée contre le vecteur et la maladie.

Mots-clés : Trypanosomoses, Cartographie, SIG, Télédétection, Paysages, Épidémiologie, Burkina Faso.

In sub-Saharan Africa, trypanosomosis continues to be a major threat to animal health. They are transmitted by tsetse flies, and the risk of transmission depends on the spatial relations between the different elements of the pathogenic system (host-vector-parasite). Health/Environment relations were studied in an agro-pastoral area of Burkina Faso by collecting georeferenced information on parasitic, agro-ecological and socio-economic systems; these data were examined with a Geographic Information System (GIS). An original cartographic method was applied to tsetse and cattle densities, using remote sensing and field data. High spatial resolution remote sensing tools and original modelling methods were used to detect the valley landscapes most favourable to tsetse flies and to describe land use by herds. The impact of trypanosomes appeared to depend largely on animal movements, watering practices and the degree of contact with riparian tsetse flies. Linkage of this spatial information allowed to identify "high-risk meeting points" and to target the vector control.

Key-words : Trypanosomoses, Cartography, GIS, Remote Sensing, Landscapes, Epidemiology, Burkina Faso.

INTRODUCTION

Les glossines, ou mouches tsé-tsé, occupent 8,7 millions de kilomètres carrés en Afrique et constituent un facteur limitant de l'élevage. Elles sont les vecteurs d'une des principales parasitoses humaines et animales, la trypanosomose, et, dans le domaine vétérinaire, les

1. Université Paris X-Nanterre – 2. CIRAD-EMVT, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, département élevage et médecine vétérinaire (Montpellier) – 3. CIRDES, Centre international de recherche-développement sur l'élevage en zone sub-humide (Burkina Faso) – 4. ISRA/LNERV, Institut sénégalais de recherche agronomique, Laboratoire national d'élevage et de recherche vétérinaire (Sénégal) – 5. CIRAD-TERA, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, département territoires-espaces-ressources-acteurs (Montpellier).

pertes économiques annuelles sont estimées à 1 milliard US\$ à l'échelle du continent (De Haan & Bekure, 1991).

Le risque de transmission des parasites est directement lié à l'intensité des rencontres entre vecteurs infectants et hôtes, et repose essentiellement sur les interfaces temporelles et spatiales entre les acteurs du système pathogène (hôte-vecteur-parasite) (Laveissière *et alii*, 1986, de La Rocque *et alii*, 1999). Le concept de l'exposition au risque a fait l'objet de différentes modélisations quantitatives, en santé humaine et animale, prenant en compte des paramètres entomologiques et épidémiologiques (Laveissière *et alii*, 1994, Milligan & Baker, 1988, Rawlings *et alii*, 1991, Rogers, 1988).

La méthodologie du travail présenté ici repose sur une approche essentiellement géographique, où les différentes composantes intervenant dans le système épidémiologique ont été recherchées, cartographiées et mises en relation. Les outils de la géographie, systèmes d'information géographique (SIG), télédétection, analy-

se et modélisation spatiales, représentent un apport majeur pour l'analyse de ces relations spatiales (De Wispelaere, 1994, Clarke *et alii*, 1996). Ils permettent de révéler des indicateurs sur les éléments du système épidémiologique et d'identifier les zones épidémiologiquement dangereuses, dans une perspective de lutte contre la maladie et son vecteur.

LE CADRE DE L'ÉTUDE

L'étude porte sur 1 200 km² de la zone dite de Sidéradougo (3 000 km²), se situant au sud de Bobo Dioulasso (11°10' N, 4°19' W, 434 m d'altitude) au Burkina Faso, au pied de la «Falaise» de Banfora (fig. 1). Elle est représentative du domaine tropical soudanien et de ses dynamiques récentes (péjoration climatique, croissance démographique, augmentation du cheptel et des surfaces agricoles, association agriculture-élevage...). Les savanes arborées à «karité» (*Butyrospermum paradoxum*) et à *Terminalia laxiflora* sont traversées par un réseau hydrographique bordé par des formations ripicoles arbusives ou des galeries forestières.

Fig. 1 : Localisation de la zone de Sidéradougo

Les deux espèces de glossines présentes dans la zone (*Glossina tachinoides* et *Glossina palpalis gambiensis*) ont pour biotope préférentiel ces formations végétales riveraines (Challier, 1973, Gruvel, 1975). Leur répartition et leurs densités ont évolué avec les modifications environnementales liées à l'anthropisation croissante de la région (de La Rocque *et alii*, 2000).

L'élevage bovin dans la zone de Sidéradougou relève de différents types de systèmes de production, qui peuvent être classés selon leurs finalités et l'activité principale des occupants: élevage traditionnel (ressource principale du groupe familial), agro-élevage (thésaurisation), association avec l'agriculture (culture attelée) (INERA/Equipe RSP,

Fig. 2: Modèle spatial d'analyse des données (ZRE : Zone de risque épidémiologique)

1997). Ces différents systèmes se caractérisent par des pratiques spécifiques, et par conséquent des utilisations différentes de l'espace.

Fig. 3: Carte des paysages des formations riveraines

MODÉLISATION DES RELATIONS HÔTE-VECTEUR

Ces fortes caractéristiques spatiales de deux des éléments du système pathogène (hôte et vecteur) permettent d'envisager une cartographie de chacun d'eux, et une mise en relation au sein d'un SIG, la présence du troisième élément du système (le parasite) se situant à l'interface des deux premiers (fig. 2). Les conditions biotiques et abiotiques spécifiques qui conditionnent la présence des glossines sont susceptibles d'être repérées par l'imagerie satellitale. Les pratiques de déplacement des troupeaux peuvent être modélisées afin de fournir une carte de l'occupation de la zone par les bovins.

ÉVALUATION DES DENSITÉS DE GLOSSINES PAR TÉLÉDÉTECTION : APPROCHE PAYSAGÈRE

L'intérêt de l'utilisation des images satellites à l'échelle d'un pays ou d'une sous-région a déjà pu être mis en avant pour la cartographie des glossines (Hay *et alii*, 1997), mais à petite échelle et en associant essentiellement des sources météorologiques (un pixel représentant environ 1 km²) et des ratios tels que le NDVI (Rogers *et alii*, 1996).

Le choix de l'utilisation d'une image SPOT en mode multispectral (enregistrée le 3 novembre 1996) s'est imposé par la nécessité d'une haute résolution spatiale (pixel de 20x20 m), afin de détecter des formations riveraines observées, souvent étroites.

Cartographie de la végétation

Après les pré-traitements d'optimisation et de rectification géométrique (géoréférencement), une classification assistée suivant la méthode du maximum de vraisemblance a été appliquée à l'image, à partir des 14 types d'occupation du sol identifiés sur le terrain (164 sites-tests étudiés et géoréférencés),

orientés dès le départ vers une caractérisation fine des formations riveraines.

L'approche paysagère pour caractériser les formations de bas-fonds

Pour pallier aux problèmes de résolution spatiale et pour prendre en considération l'environnement direct des formations ripicoles au sein d'un « paysage » (Bruneau & Kilian, 1984), une approche paysagère a été proposée (Borne, 1990). Elle a été ciblée sur les zones d'intérêt majeur pour la détection des glossines, et réalisée dans une zone tampon large de 600 mètres, centrée sur le réseau hydrographique. Huit types de paysages ont ainsi été définis à dire d'expert. Ces différents paysages ont été mis en relation avec différents descripteurs du milieu (caractérisés par des typologies sur les formations végétales, les cours d'eau, etc.) (de La Rocque, 1997).

Paysages et densités de glossines

Cette cartographie des paysages de bas-fond a été confrontée aux densités de glossines relevées lors des enquêtes entomologiques, réalisées sur près de 120 km de réseau hydrographique (de La Rocque, 1997). Une simple comparaison de moyennes (tab. 1) montre que :

- les densités de *Glossina palpalis gambiensis* sont significativement plus élevées dans l'unité 1 que dans toutes les autres ($p < 0.01$). Elles sont également plus importantes dans l'unité 2 ($p < 0.05$). Par ailleurs, les densités très élevées dans l'unité 8 concernent des effectifs très réduits, qui ne permettent pas d'effectuer de comparaisons statistiques robustes ;
- les densités de *Glossina tachinoides* sont également plus élevées dans l'unité 1 ($p < 0.01$), puis dans les unités 2 et 3 ($p < 0.01$), avec la même remarque concernant le paysage 8.

**Tab. 1 : Moyenne des densités apparentes de glossines
dans les différentes unités de paysages de bas-fond
(les écart-types sont indiqués entre parenthèses)**

Unité de paysage	1 Galeries larges	2 Galeries étroites	3 Cordons ripicoles	4 Thalweg ripicoles	5 Zones parc	6 Savanes non classées	7 Zones	8 Forêts
Nombre de sites	242	194	343	57	30	38	23	11
<i>G. tachinoides</i>	3,85 (5,96)	1,89 (2,76)	1,94 (3,55)	0,8 (2,9)	1,17 (0,46)	0	1,61 (1,95)	2,27 (3,9)
<i>G.p.gambiensis</i>	2,61 (3,35)	1,76 (2,37)	0,85 (1,73)	0,88 (3,01)	0,07 (0,37)	0	1,2 (2,6)	9,09 (10,87)

MODÉLISATION DE LA FRÉQUENTATION DE L'ESPACE PAR LES BOVINS EN FIN DE SAISON SÈCHE

Lors d'un recensement terrestre, plus de 800 concessions familiales (représentant plus de 16 500 bovins), ainsi que les points d'abreuvement fréquentés en fin de saison sèche ont été visités et géoréférencés (Michel *et alii*, 1999). À cette saison, la contrainte de l'abreuvement dicte les déplacements des troupeaux (Benoit, 1977, Lhoste *et alii*, 1993).

Afin de passer d'une représentation ponctuelle des données à une représentation surfacique, une méthode de modélisation des déplacements a été proposée (Michel *et alii*, 1999). À partir des axes de déplacements entre concession et point d'eau, une «aire d'influence» de chaque troupeau est déterminée en fonction de la

taille du troupeau et de la distance entre les deux points. Elle a été validée par des suivis de troupeaux sur le terrain. En projetant les aires d'influence sur une maille de 1 km de côté (nombre d'animaux rapporté à la surface et somme des animaux des différents troupeaux), une carte de fréquentation maximale de l'espace par les bovins est obtenue (fig. 4).

CARTOGRAPHIE DES ZONES ÉPIDÉMIOLOGIQUEMENT DANGEREUSES

La modélisation des relations hôte-vecteur repose sur l'hypothèse suivante : les points épidémiologiquement dangereux (PED) se situent à l'intersection de l'espace des glossines (EG) et de l'espace des bovins (EB). En fin de saison sèche, le réseau hydrographique (RH) est le point central de ce modèle, puisqu'il abrite les glossines et la majorité des points d'abreuvement du bétail, et constitue l'espace de contact entre hôtes et vecteurs des trypanosomes.

$$PED = RH \cap EG \cap EB$$

Une grille de risque schématique a été établie pour rechercher les combinaisons de densité de bovins et de densités de glossines (à travers les paysages de bas-fond) les plus favorables à la transmission parasitaire (fig. 5).

Les couches d'informations intervenant dans le modèle ont été «croisées»

**Fig. 5: Grille de décision
pour l'identification des zones
à risque épidémiologique**

Fig. 4: Carte de fréquentation maximale de l'espace par les bovins

dans le SIG, faisant apparaître des tronçons de réseau hydrographique au niveau desquels les interfaces entre les glossines (perçues à travers l'approche paysagère) et les bovins (appréhendés par l'analyse des zones d'influence) sont les plus intenses (fig. 6).

La démarche révèle alors que sur les 126 km du réseau hydrographique concerné :

- 15 km appartiennent à la classe de risque maximum,
- 8 km présentent un risque moyen,
- 16 km un risque faible.

Afin de valider cette modélisation, ces espaces considérés à risque ont été confrontés aux résultats de l'identification par PCR (Polymerase Chain Reaction) des trypanosomes hébergés

par les glossines. Il apparaît que le pourcentage de glossines infectées par des trypanosomes pathogènes est d'autant plus important que la zone a été décrite comme dangereuse (Cuisance & de La Rocque, 1998). Ces résultats confirment donc la pertinence de la démarche et valident ses résultats.

La saison sèche 2000-2001 voit les débuts des campagnes de lutte ciblée sur les points dangereux identifiés, avec pour objectif le contrôle des populations de glossines et le blocage des cycles épidémiologiques.

CONCLUSION

L'originalité de ce projet de recherche est de replacer le système épidémiologique dans son environnement agro-écologique et socio-économique, ce qui

Fig. 6 : Mise en évidence des zones à risque épidémiologique

permet une compréhension intime du fonctionnement de la transmission et l'appréciation de l'impact des modifications environnementales sur le risque parasitaire. L'utilisation de données issues de la télédétection, qui allège des enquêtes au sol longues et coûteuses, associée à la modélisation spatiale, permettent de compléter des données discontinues. Les descriptions fines ont permis de mettre en évidence des situations variables de transmission, à quelques kilomètres de distance seulement, selon des indicateurs spatiaux. Une telle approche interdisciplinaire est très riche et novatrice en médecine vétérinaire. Elle repose sur une étroite collaboration entre de nombreux intervenants de différentes disciplines.

La démarche peut être étendue à d'autres maladies parasitaires à transmission vectorielle comme celles liées aux tiques (maladie de Lyme, cowdriose...), aux moustiques (paludisme, West

Nile, dengues...), aux phlébotomes (leishmanioses), etc; les parasitoses à hôtes intermédiaires (schistosomoses, dracunculose, fascioloses, etc.) (Nuttall *et alii*, 1998) et certaines pathologies à transmission directe pourraient aussi bénéficier d'une approche analogue.

Bibliographie

Benoit M. (1977), *Introduction à la géographie des aires pastorales soudaniennes de Haute-Volta*, Paris, ORSTOM, 95 p.

Borne F. (1990), *Méthodes numériques de reconnaissance de paysages*, thèse de Doctorat, Université Paris VII, Paris, 213 p.

Bruneau & Kilian (1984). « Inventaires agroécologiques, paysages et télédétection en milieu tropical. Essai méthodologique », *L'Espace Géographique*, 3, p. 215-224.

Challier A. (1973), *Ecologie de Glossina palpalis gambiensis Vanderplanck 1949 en savane d'Afrique Occidentale*, Paris, ORSTOM, 274 p.

Clarke K.C., McLafferty S.L. & Tempalski B.J. (1996), « On Epidemiology and Geographic Information Systems: A Review and Discussion of Future Directions », *Emerging Infectious Diseases*, 2(2), p. 85-92.

Cuisance D. & de La Rocque S. (1998), *Tsé-tsé et trypanosomes. Du système pathogène à l'évaluation du risque*, Colloque de synthèse et de prospective du Programme Environnement, Vie et Société (PIREVS) du CNRS, Ministère de l'Education nationale, de la Recherche et de la Technologie. Rapport final Janvier 1996-décembre 1998, Montpellier, CIRAD-EMVT / CNRS. 91 p.

De Haan C. & Bekure S. (1991), *Animal health services in Sub-Saharan Africa: initial experiences with new approaches*, Washington, World bank.

La Rocque de S. (1997), *Identification des facteurs discriminants majeurs de la présence des glossines dans une zone agro-pastorale du Burkina Faso. Intérêt dans la prévision du risque trypanosomien*, thèse de Doctorat, Parasitologie, Université Montpellier II, Montpellier. 212 p.

La Rocque de S., Augusseau X., Guillobez S., Michel V., De Wispelaere G., Bauer B. & Cuisance D. (2000), « The changing distribution of two riverine tsetse flies over 15 years in an area increasingly occupied by agriculture in Burkina Faso », *Bulletin of Entomological Research*, accepté.

La Rocque de S., Bengaly Z., Michel J.-F., Solano P., Sidibé I. & Cuisance D. (1999), « Importance des interfaces spatiales et temporelles entre les bovins et les glossines dans la transmission de la trypanosomose animale en Afrique de l'Ouest », *Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des pays Tropicaux*, 52(3-4), p. 215-222.

De Wispelaere G. (1994), « Contribution of satellite remote sensing to the mapping of potential Glossina biotopes. Case study of the Adamawa plateaux in Cameroon », *FAO Animal Production and Health Paper*, 121, p. 74-89.

Gruvel J. (1975), « Données générales sur l'écologie de *Glossina tachinoïdes* Westwood 1850 dans la réserve de Kalamaloué, vallée du Bas -Chari », *Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays tropicaux*, 28(1), p. 27-40.

Hay S.I., Packer M.J. & Rogers D.J. (1997), « The impact of remote sensing on the study and control of invertebrate interme-

diates hosts and vectors for disease », *International Journal of Remote Sensing*, 18(14), p. 2899-2930.

INERA/Équipe RSP (1997), *Etude des systèmes d'élevage dans la zone de Sidéradougou*, rapport de recherche. Bobo Dioulasso (Burkina Faso), INERA, GRN-SP. 60 p.

Laveissière C., Couret D. & Hervouet J.-P. (1986), « Localisation et fréquence du contact homme/glossines en secteur forestier de Côte d'Ivoire. I. Recherche des points épidémiologiquement dangereux dans l'environnement végétal », *Cahiers de l'ORSTOM, Série Entomologie médicale et Parasitologie*, 14, p. 21-35.

Laveissière C., Sane B. & Meda H.A. (1994), « Measurement of risk in endemic areas of human African trypanosomiasis in Côte d'Ivoire », *Transaction of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 88, p. 645-648.

Lhoste P., Rousseau J. & Soltner D. (1993), *Manuel de zootechnie des régions chaudes: les systèmes d'élevage*, Paris, Ministère de la Coopération. 288 p.

Michel J.-F., Michel V., de La Rocque, Touré I. & Richard D. (1999), « Modélisation de l'occupation de l'espace par les bovins, applications à l'épidémiologie des trypanosomoses animales », *Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays tropicaux*, 52(1), p. 25-33.

Milligan P.M.J. & Baker R.D. (1988), « A model of tsetse transmitted animal trypanosomiasis », *Parasitology*, 96, p. 211-239.

Nuttall I., O'Neill K. & Mert J.-P. (1998), « Systèmes d'information géographique et lutte contre les maladies tropicales », *Médecine tropicale*, 58(3), p. 221-226.

Rawlings P., Dwinger R.H. & Snow W.F. (1991), « An analysis of survey measurement of tsetse challenge to trypanotolerant cattle in relation to aspect of analytical models of trypanosomiasis », *Parasitology*, 102, p. 371-377.

Rogers D.J. (1988), « A general model for African Trypanosomiasis », *Parasitology*, p. 193-212.

Rogers D.J., Hay S.I. & Packer M.J. (1996), « Predicting the distribution of tsetse flies in West Africa using Fourier processed meteorological satellite data », *Annals of Tropical Medicine and Parasitology*, 90(3), p. 225-241.