LES DIFFERENTES POTENTIALITES D'UN SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE POUR LES ETUDES EN EPIDEMIOLOGIE : L'EXEMPLE DES TRYPANOSOMOSES ANIMALES EN ZONE SOUDANIENNE

S. DE LA ROCQUE, J.F. MICHEL, D. CUISANCE

Med. Trop. 2001 ; **61** : 365-371

RESUME • Les maladies vectorielles ont une épidémiologie complexe, due notamment à la variabilité de leurs différents acteurs, les hôtes, les parasites les vecteurs, qui ont chacun leur écologie. Dans les savanes ouest-africaines, la transmission des trypanosomoses animales en est un excellent exemple. Les interfaces spatiales et temporelles entre les hôtes et les vecteurs déterminent l'intensité de la transmission et seule une vision très globale de l'environnement dans lequel fonctionne le système épidémiologique permet de comprendre la diversité des situations rencontrées. L'espace est le point central dans l'évaluation du risque. Des outils modernes de gestion de l'information spatiale, en particulier les systèmes d'information géographique (SIG), permettent de nouvelles explorations de cette épidémiologie complexe. Les SIG sont des outils puissants, souvent utilisés uniquement dans un but cartographique. La simple projection géographique des informations est certes déjà très riche pour visualiser des tendances et comprendre des relations. Mais les SIG offrent également d'importantes potentialités pour confronter des informations de natures et origines différentes, créer de nouvelles variables, tester des hypothèses et des corrélations, ou encore modéliser les fonctionnement dans un but prévisionnel. L'objet de cet article est d'aborder ces différentes potentialités à travers l'exemple d'une étude réalisée récemment sur l'épidémiologie des trypanosomoses animales dans une zone agro-pastorale du Burkina Faso.

MOTS-CLES • Trypanosomoses animales - Epidémiologie - Burkina Faso - Système d'information géographique.

POTENTIAL APPLICATIONS OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS IN EPIDEMIOLOGY STUDIES : EXAMPLE OF ANIMAL TRYPANOSOMIASIS IN A SUDANESE ZONE

ABSTRACT • The epidemiology of vector-borne diseases is complex due to variability in the ecology of the different actors involved, i.e., hosts, parasites and vectors. Transmission of animal trypanosomiasis in the West African savannah region is an excellent example of this complexity. Because of the importance of place and time in determining the interface between host and vector, a broad view of the overall environment is necessary to understand the variety of situations that can be encountered in an epidemiological system. Spatial distribution is a key factor for risk evaluation. State-of-the-art geographic information systems (GIS) have provided new insight into this complex epidemiology. GIS is a powerful technology that has been used mainly in map-making. An enormous amount of knowledge can be gained simply by geographical data projection. However GIS also allows juxtaposition of different types of information, creation of new variables, testing of theories and correlations, and generation of predictive models. The purpose of this article is to exemplify the potential applications of GIS using a recent study carried out on animal trypanosomiasis in a cattle-raising area of Burkina Faso.

KEY WORDS • Geographical information system - Animal trypanosomiasis- Epidemiology - Burkina Faso.

Les maladies parasitaires à transmission vectorielle ou par hôte intermédiaire font partie des grandes pathologies tropicales. Leur épidémiologie est complexe, le système pathogène faisant intervenir plusieurs acteurs : l'hôte, le parasite et le vecteur. Dans la réalisation des cycles, « le milieu joue un rôle chaque fois que l'existence et/ou l'abondance de l'un des acteurs du cycle sont dépendantes de conditions d'environnement particulières » (1). Il peut s'agir de vecteurs étroitement dépendant de biotopes particuliers, ou de comportement des hôtes qui les exposent plus ou moins intensément au risque d'infection. L'exemple des trypanosomoses animales, présenté ici, est particulièrement révélateur. Les glossines présentes au Burkina Faso ont une distribution de type agrégé, limitée aux galeries forestières qui bordent les rivières. Le risque parasitaire pour les bovins avoisinants est très variable selon l'intensité, dans le temps et dans l'espace, de leur fréquentation des points d'abreuvement situés dans ces galeries (2). Ce comportement pastoral est régi par l'utilisation de ressources (eaux, fourrages), la mosaïque d'occupation des terres (espace cultivé, espace de savane) et des facteurs sociaux-culturels. L'étude de l'épidémiologie des maladies vectorielles nécessite de percevoir leur fonctionnement au sein du système éco-socio-pathogène (3).

La gestion de données plurithématiques est délicate, chacune se déclinant avec une résolution et une diversité qui leur sont propres. Souvent le seul dénominateur commun est leur projection dans l'espace géographique. Les systèmes

• *Travail du Centre de Coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (S.de L.R., Docteur Vétérinaire, Docteur de l'Université de Montpellier 2 ; J.F.M., D.C., Docteurs Vétérinaires), Campus international de Baillarguet, TA 30/F, 34398 Montpellier Cedex 5, France.*

• *Correspondance : S. DE LA ROCQUE, Centre de Coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, Campus international de Baillarguet, TA 30/F, 34398 Montpellier Cedex 5, France • Fax : +33 (0) 4 67 59 37 99 • e-mail : stephane.delarocque@cirad.fr •*

• *Article sollicité.*

d'informations géographiques (SIG), de plus en plus souvent utilisés depuis quelques années, permettent d'exploiter cette référence à l'espace.

Le Comité Fédéral de Coordination Inter-Agences pour la Cartographie Numérique (FICCDC, Etats-Unis) définit un SIG comme un « système informatique de matériels, de logiciels et de processus conçus pour permettre la collecte, la gestion, la manipulation, l'analyse, la modélisation et l'affichage de données à référence spatiale afin de résoudre des problèmes complexes d'aménagement et de gestion ». Le principe d'un SIG est en fait de définir, mettre en relation ou créer des objets graphiques repérés dans l'espace et reliés à des données thématiques. Son application va être illustrée par la description des travaux réalisés au CIRDES sur l'étude de l'épidémiologique des trypanosomoses animales (4).

CADRE DE L'ETUDE

La zone agropastorale de Sidéradougou se situe au sud de la ville de Bobo Dioulasso, au pied de la falaise de Banfora (Fig 1). Elle est représentative du domaine tropical soudanien, avec des savanes arborées et des formations forestières le long des cours d'eau. La principale rivière est le Koba, qui a pour affluent le Tolé. Cette zone a été choisie comme site d'étude en raison de l'abondance de données anciennes disponibles (5). Les objectifs de cette étude ont été de caractériser les biotopes les plus favorables aux glossines, de décrire l'évolution des populations de vecteurs avec les modifications environnementales et de révéler les sites majeurs de transmission parasitaire afin d'adapter les méthodes de lutte antivectorielle. La référence à l'espace a été au centre de toutes les analyses, et les différents domaines des SIG, énumérés dans la définition ci-dessus, ont été visités.

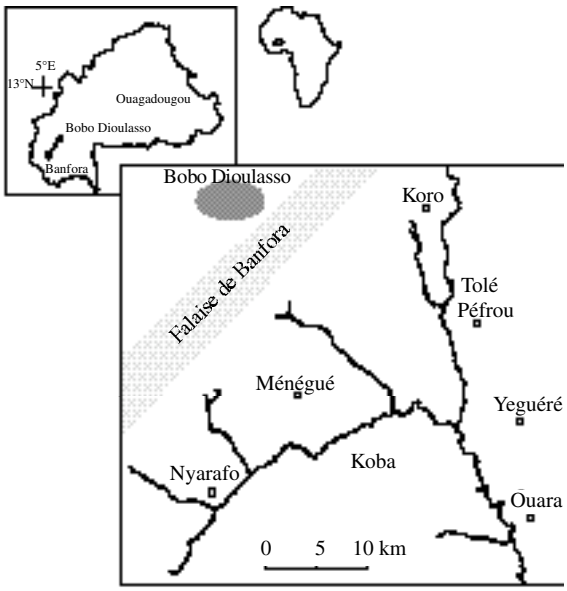


Figure 1 - Localisation de la zone agropastorale de Sidéradogou, Burkina Faso.

AFFICHER DES DONNEES GEOREFERENCEES : LA CARTOGRAPHIE POUR DECRIRE ET COMPRENDRE

La première utilisation des SIG consiste à visualiser la distribution spatiale des informations. Les logiciels commerciaux sont généralement dotés d'outils conviviaux d'édition cartographique. La «mise à plat» des données permet souvent de révéler l'échelle de fonctionnement des systèmes, de mettre en évidence des relations entre des informations de thèmes différents et d'émettre des hypothèses épidémiologiques.

Visualiser la répartition des vecteurs.

Une enquête entomologique a été réalisée dans la zone durant la saison sèche 1996 (6) : 1 026 pièges biconiques (7) ont été disposés de manière systématique tous les 100 mètres le long du réseau hydrographique, leur localisation géographique étant relevée à l'aide de récepteurs GPS. Un total de 3 604 glossines, appartenant à deux espèces riparicoles (*Glossina palpalis gambiensis* et *Glossina tachinoides*) a été capturé. Plus de 1 800 individus ont été disséqués pour rechercher les trypanosomes dans les pièces buccales, l'intestin moyen et des glandes salivaires. L'éventuel sang résiduel dans l'intestin a été identifié par test ELISA. Les trypanosomes observés dans les organes infectés ont été identifiés par PCR (8).

Glossina tachinoides a été capturée sur l'ensemble du réseau hydrographique, mais *Glossina palpalis gambiensis* ne se localise que sur le cours d'eau majeur (Koba). Les plus fortes densités ont été observées le long de la branche Est du Koba, où les galeries forestières sont larges (Fig.2).

Visualiser la répartition des parasites.

Ont été trouvées infectées 16,5 % des glossines disséquées mais seulement la moitié de ces trypanosomes ont pu être identifiés par PCR. Les amorces ADN disponibles étant spécifiques des différents trypanosomes pathogènes circulant dans la sous-région (9), les infections non identifiées sont attribuées à des parasites de reptiles tels que *Trypanosoma grayi-like* ou *Trypanosoma varani* (10).

La cartographie précise des résultats a montré des situations épidémiologiques très différentes selon les tronçons de réseau hydrographique. La grande majorité des trypanosomes observés à la dissection des glossines sont identifiés par PCR dans la région de Yéguéré, tandis que les 2/3 des parasites ne le sont pas dans la région de Nyarafo-Ménégué (11) (Fig.3).

Les glossines riveraines ont un comportement alimentaire opportuniste et s'alimentent sur les vertébrés les plus disponibles (12, 13). Dans les zones faiblement occupées par l'homme (Nyarafo-Ménégué), elles se nourrissent essentiellement sur des reptiles (varans, crocodiles) et, en conséquence, s'infectent peu avec des trypanosomes de mammifères. En revanche, dans les zones fortement anthropisées (Yéguéré), les repas pris sur bovins et suidés sont majoritaires, et les glossines acquièrent fréquemment les parasites pathogènes (Fig.4).

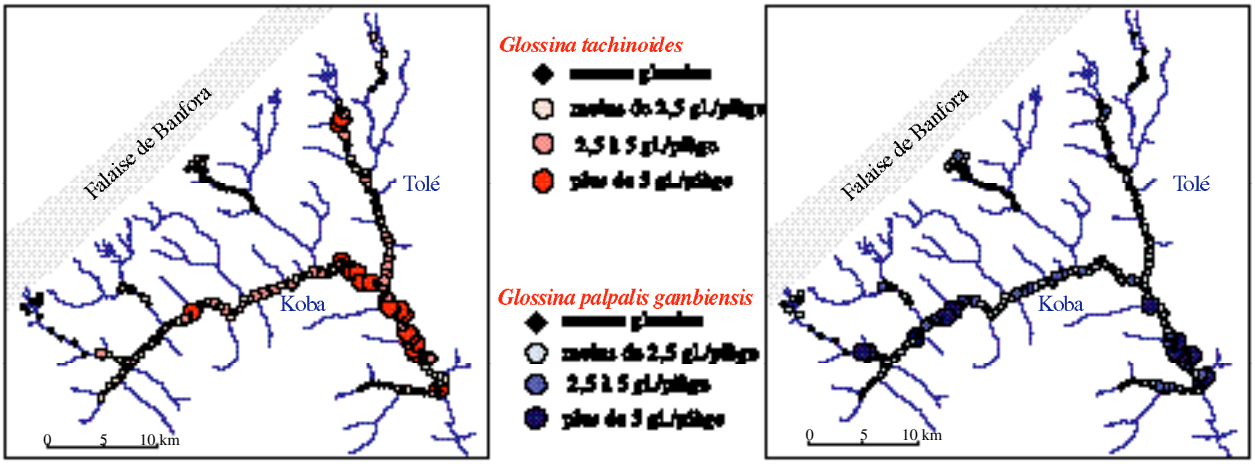


Figure 2 - Répartition de Glossina tachinoides *et* Glossina palpalis gambiensis *en 1995 (moyenne sur 5 pièges).*

La densité de glossines dangereuses est ainsi de 2,6 individus par kilomètre de réseau hydrographique dans la zone Ouest, et de 6,9 individus par kilomètre dans la zone Est.

Ces deux zones ne sont pourtant séparées que d'une dizaine de kilomètres. Seule une cartographie fine de ces résultats a permis de révéler cette hétérogénéité.

Visualiser la répartition des hôtes.

Un recensement exhaustif et géoréférencé de tous les propriétaires de bovins a été réalisé : 801 concessions ont été répertoriées, représentant environ 16 500 bovins.

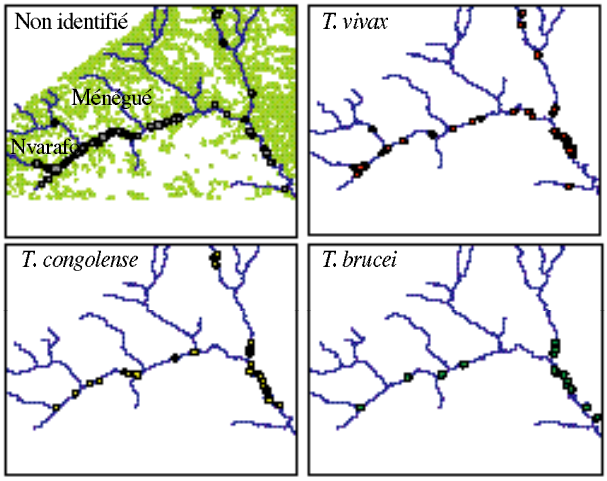


Figure 3 - Résultats des analyses PCR sur les organes infectés.

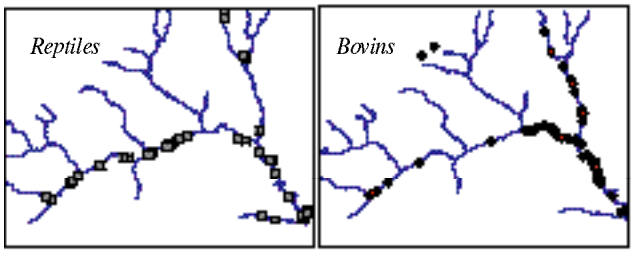


Figure 4 - Origine des repas de sang des glossines.

Trois principaux types de systèmes de production ont été mis en évidence (14). Le premier correspond aux éleveurs Peuhl, grands propriétaires d'animaux. Le deuxième regroupe des agro-pasteurs, propriétaires de quelques bœufs de trait et, pour les plus anciennement installés, d'un petit troupeau de reproducteurs. Le dernier type correspond aux agriculteurs dont les troupeaux ne dépassent pas 5 bovins.

La cartographie de ces données a notamment permis de constater l'importance des petites unités d'élevage très agrégées en zone agricole qui entraînent des densités de cheptel dans les espaces cultivés aussi, sinon, plus élevées que dans ceux traditionnellement reconnus pastoraux.

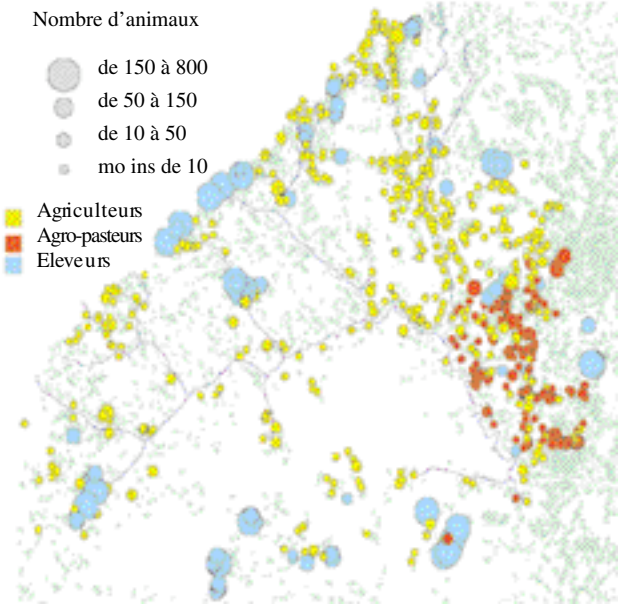


Figure 5 - Distribution et effectifs de bétail par type de système de production.

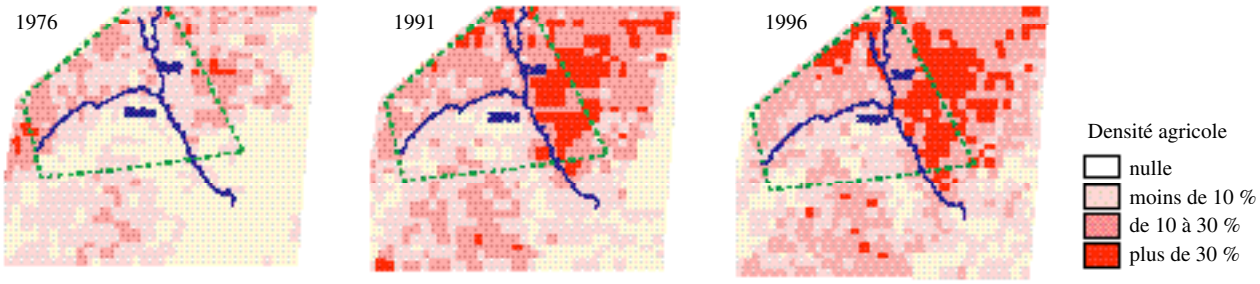


Figure 6 - Evolution de l'occupation agricole entre 1976 et 1996 (15).

ANALYSER ET CREER DES INFORMATIONS POUR FORMALISER ET EXPLIQUER

Les données importées dans un SIG peuvent être d'origine variable, issues de travaux de terrain ou de capteurs de télédétection. Les difficultés de calage et de compatibilité d'échelles résolues, les SIG permettent de les combiner pour créer de nouvelles données et tester des corrélations.

Evolution de l'emprise agricole.

L'analyse diachronique de photographies aériennes et d'images satellitales de différentes dates (LANDSAT MSS, mars 1976, SPOT, décembre 1991 et 1996) a permis de visualiser les importants changements dans l'occupation de l'espace durant les 20 dernières années. Le parcellaire agricole a été cartographié directement sur les images satellites brutes, numérisé puis agrégé à l'intérieur d'une trame dont la maille élémentaire représente 400 hectares (Fig. 6). Les cartes d'occupation agricole montrent le «front pionnier» venant de l'Est, dû à une forte immigration d'agriculteurs originaires du plateau central du pays (front pionnier Mossi) (15) attirés par les potentialités de la zone pour la culture cotonnière.

Evolution des glossines.

L'enquête entomologique menée en 1996 a été réalisée selon le même protocole et le même échantillonnage qu'une étude antérieure réalisée en 1982. La comparaison des densités repose sur le calcul du nombre de glossines capturées par kilomètre sur trois grandes parties du réseau hydrographique (Tolé, branches Est et Ouest du Koba) (Fig. 7).

Globalement, les densités observées sur l'ensemble du réseau lors des deux enquêtes sont comparables. Cependant, d'importantes différences existent dans leur répartition entre les deux dates (16) : Le long du Tolé, les populations de *Glossina tachinoides* ont diminué d'environ 60 % et *Glossina palpalis gambiensis* a disparu. Les deux espèces ont en revanche augmenté le long de la partie du Koba située à l'Est de l'embranchement avec le Tolé (Tableau I).

Tableau I - Densités des glossines le long des différentes partie du réseau hydrographique.

		Nombre de *Glossina tachinoides* par km			Nombre de *Glossina palpalis gambiensis* par km		
	km	1982	1996	S	1982	1996	S
Ensemble du réseau	121	16,5	16,8	NS	11,55	12,52	NS
Amont du Koba	40,2	17,1	23,1	***	16,9	18,9	NS
Aval du Koba	16,2	18	46,4	***	22,2	34,75	***
Tolé	27,2	33,6	13,7	***	9,3	1,8	***

S = signification ;
NS = non significatif à 5 % ;
* = significatif à 5 % ;
** = significatif à 1 % ;
*** = significatif à 0,1 %).

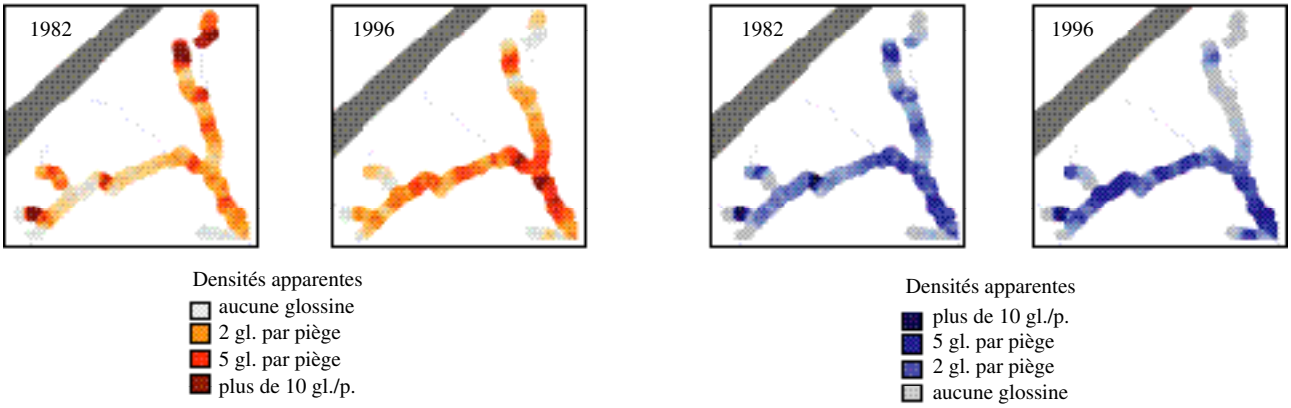


Figure 7 - Répartitions de Glossina tachinoides *et de* Glossina palpalis gambiensis *en 1982 et1996.*

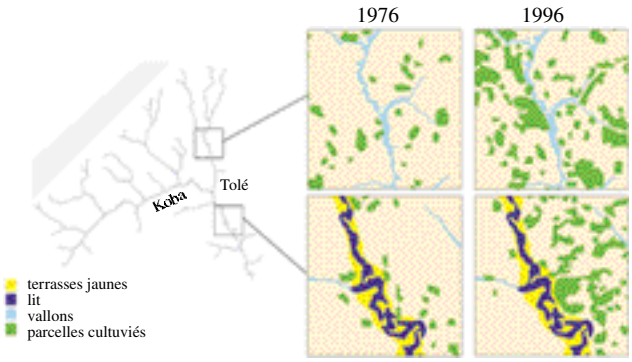


Figure 8 - Evolution du parcellaire agricole dans des zones représentatives du Tolé et du Koba.

Cette différence d'évolution est surprenante, puisque ces deux parties du réseau appartiennent à la zone de front pionnier. Mais un examen attentif révèle un parallèle entre ces évolutions et la proximité des parcelles cultivées récentes. Cette observation a été formalisée par le calcul de distance entre chaque point de piégeage et les parcelles les plus proches. Les populations de glossines ont très clairement diminué dans les zones où les cultures sont proches des cours d'eau. Le long du Tolé notamment, elles s'étendent jusque sur les bords de la rivière. En opposition, sur la branche Est du Koba, les parcelles cultivées sont éloignées d'au moins 300 mètres du cours d'eau, en raison d'une unité géomorphologique particulière, les terrasses jaunes (17), constituées de sols difficiles à cultiver (Fig. 8).

Cette corrélation nécessite d'être expliquée par la description des mécanismes écologiques sous-jacents. La mise à nu des sols rend plus agressives les pluies, et amplifie les ruissellements. Ces ruissellements favorisent l'érosion et l'effondrement des rives, entraînant le déracinement des arbres riverains et créant des trouées dans la continuité de la galerie. Une étude phytosociologique a confirmé que les formations ligneuses du Tolé sont fortement dégradées (18).

Les glossines étant des insectes étroitement dépendants des conditions écologiques, même de faibles variations des facteurs abiotiques (température, humidité) ont des effets prononcés sur leur abondance (19). Avec la fragmentation des galeries, l'effet de « tampon » que joue la végétation vis-à-vis de l'atmosphère plus aride de la savane est diminué. L'ensemble de la dynamique des populations de glossines s'en trouve changé, ce qui peut aboutir à la disparition locale d'une espèce, comme par exemple *Glossina palpalis gambiensis* le long du Tolé.

Le SIG a été utilisé ici d'une part pour créer des informations (occupation agricole, proximité des cultures), d'autre part pour confronter des données. Des hypothèses ont pu être avancées et testées, ce qui permet de définir des indicateurs. Finalement, il s'agit bien de mettre le SIG au service de l'approche dominante, en écologie du paysage, qui est de relier un fonctionnement écologique à une mesure de structures (20).

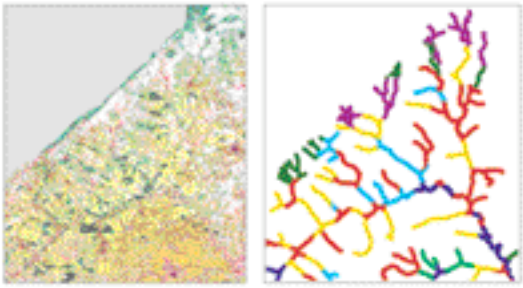
MODELISER LES ESPACES ET LES FONCTIONNEMENTS POUR PREVOIR

Les données importées dans un SIG ne sont pas toujours à l'échelle désirée ou n'ont pas forcement d'emblée une définition géographique. L'affectation d'un attribut spatial peut se réaliser à travers des méthodes de modélisation, qui offrent également de vastes possibilités de simulation.

Modéliser l'espace des vecteurs.

Afin de rechercher les zones les plus favorables aux glossines, une scène SPOT datant de décembre 1996 a été classée (par maximum de vraisemblance) en 13 unités, particulièrement orientées sur les formations de bas-fonds. Les difficultés de discrimination des formations ligneuses riveraines, liées à leur taille souvent de l'ordre de celle des pixels de l'image (20 mètres) et aux confusions radiométriques avec les formations végétales périphériques (prairies de bas-fond, savanes denses), ne permettent cependant pas de révéler directement les habitats des glossines. La définition d'une typologie de paysage des bas-fonds, intégrant les différentes structures végétales, hydrologiques, géomorphologiques et anthropiques des bas-fonds a permis de replacer ces formations riveraines dans leur géosystème (21) et de réduire l'échelle de perception. L'espace des vallées a été segmenté en 8 unités qui ont été confrontées à la distribution des glossines (6) (Fig. 9).

Les densités des deux espèces sont significativement plus élevées dans l'unité 1 que dans toutes les autres. Celles de *Glossina palpalis gambiensis* le sont également dans l'unité 2 , et celles de *Glossina tachinoides* dans les unités 2 et 3.



Unité de paysage	1	2	3	4	5	6	7	8
Nombre de sites	242	194	343	57	30	38	23	11
Densité moyenne :								
- *Glossina tachinoides*	3,85	1,89	1,94	0,8	1,17	0	1,61	2,27
- *Glossina palpalis gambiensis*	2,6	1,8	0,8	0,9	0,1	0	1,2	9,1

Figure 9 - Evolution du parcellaire agricole dans des zones représentatives du Tolé et du Koba.

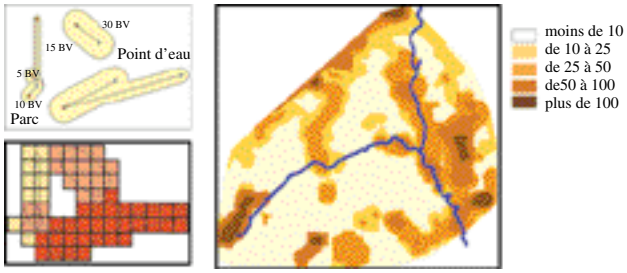


Figure 10 - Modélisation des parcours pastoraux et carte de fré - quentation de l'espace par les bovins.

Modéliser l'espace des hôtes.

Sur la base des données du recensement, une procédure particulière de modélisation spatiale, prenant en compte la diversité des parcours pastoraux selon les types d'élevage, a permis d'affecter des espaces pastoraux à chacun des campements (14). Le modèle crée autour de l'axe entre le parc de nuit et le point d'abreuvement une zone de présence probable du troupeau ou «zone d'usage» représentée par un polygone dont la surface dépend de la taille du troupeau et de la distance entre ces deux points. La projection des zones d'usage sur un maillage géographique et la sommation des effectifs a permis d'établir une carte de densité de fréquentation de l'espace par les bovins (Fig. 10).

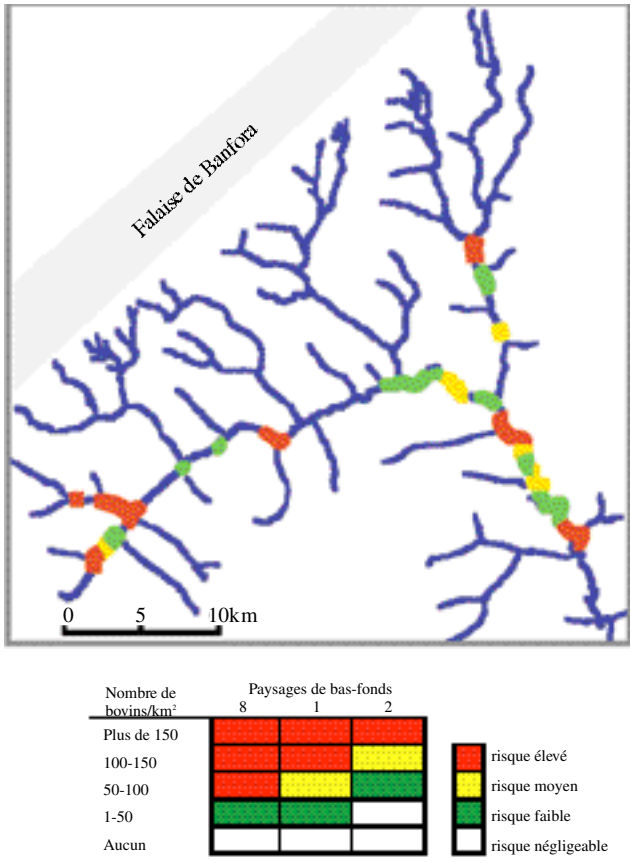


Figure 11 - Zones de risque épidémiologique.

Tableau II - Pourcentage de trypanosomes identifiés par PCR selon la zone de risque.

Zone de risque	Elevé	Moyen	Faible	Négligeable
Trypanosoma vivax	14,3	7,3	3	2,6
Trypanosoma congolense	9,3	4,2	4,5	3,3
Trypanosoma brucei s.l.	3,3	1,6	1	1,5
Non identifiés	1,6	1,6	4	5,3

Modéliser les interfaces.

La modélisation des zones à risque épidémiologique repose dans cette étude sur l'hypothèse de base que les points épidémiologiquement dangereux se situent à l'intersection de l'espace des glossines et de l'espace des bovins. Si cette hypothèse est juste, les parasites doivent se trouver au niveau des sites où les interfaces sont les plus intenses.

L'espace des glossines est caractérisé par les paysages de bas-fond les plus favorables aux insectes (unités 1, 2 et 8). L'espace des bovins a été perçu à travers la modélisation des zones d'usage du cheptel. Une grille de risque a été établie pour rechercher les combinaisons les plus favorables à la transmission (Fig. 11).

La démarche révèle alors que sur les 126 km du réseau hydrographique concerné, 15 km appartiennent à la classe de risque maximum, 8 km à la classe de risque moyen, et 16 km à la classe de risque faible. Les 87 km restants présentent un risque négligeable.

La pertinence de ces résultats a été validée par les données de PCR obtenues chez les glossines capturées lors de la prospection. Le pourcentage de glossines infectées par des trypanosomes pathogènes est, pour les 3 espèces de parasites, d'autant plus important que la zone a été décrite comme dangereuse (Tableau II). A l'inverse, le taux de trypanosomes non identifiés est plus élevé dans les zones où le risque est considéré comme faible ou négligeable. Des études sérologiques (J-F.Michel, communication personnelle) ont permis de confirmer que la fréquentation d'une zone à risque entraîne, selon la régularité de fréquentation, une augmentation d'un facteur 3 à 7 de la prévalence sérologique et d'un facteur 3 à 4 de la prévalence parasitologique (Fig. 12).

Le SIG a été ici utilisé pour résumer la diversité du milieu naturel (classification d'images de télédétection, typologie de paysage) et celle des pratiques (espaces pastoraux). Ces procédures de modélisation nécessitent parfois des développements méthodologiques et des traitements statis-

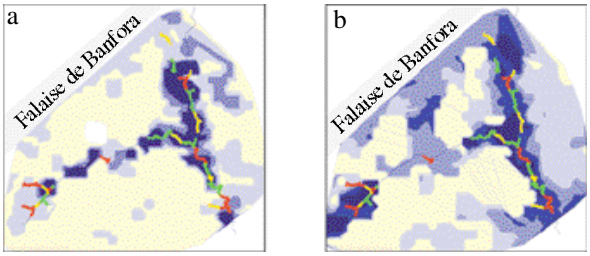


Figure 12 - Modélisation des prévalences parasitaires (a) et séro - logiques (b) et zones à risques.

tiques complexes. Apparemment réductrice, la modélisation permet pourtant de simuler et de décider. A titre d'exemple, une lutte antivectorielle ciblée, limitée aux points épidémiologiquement dangereux révélés dans cette démarche est actuellement en cours.

CONCLUSION

L'approche globale de l'épidémiologie vectorielle appréhende à la fois le système parasitaire lui-même, mais aussi des facteurs agroécologiques (formations végétales, morphopédologie, hydrologie, paysages, etc.) et socio-économiques (occupation par l'homme, bétail, pratiques d'élevage, gestion du milieu, etc.), qui entretiennent, exacerbent ou atténuent les risques de transmission des parasites aux hôtes. L'environnement au sens large n'est pas neutre dans les processus de maintien, d'émergence et de réémergence des maladies vectorielles. Cette étude souligne la nécessité de bien connaître l'agent infectieux, mais aussi l'importance d'identifier des indicateurs de présence des vecteurs et de contact avec les hôtes afin qu'apparaissent les éléments explicatifs essentiels du fonctionnement épidémiologique dans un milieu donné et que soient définis les paysages générateurs de risques.

Les SIG sont particulièrement adaptés à de telles démarches et offrent la possibilité de mettre en relation des informations de nature et de thèmes différents, pourvu qu'elles soient spatialisées. La cartographie des informations est souvent la première étape, et permet de révéler des structurations spatiales et fonctionnelles. Des requêtes du type inclusion, proximité, recouvrement, intersection permettent de tester des hypothèses et de créer de nouvelles données ensuite soumises aux traitements statistiques classiques ou spatiaux. La modélisation permet de simuler des scénarios et ouvre la voie de l'épidémiologie prédictive. Ces outils sont actuellement utilisés pour de nombreuses pathologies vectorielles. Il ressort de la littérature qu'un des points les plus délicats est la définition de l'échelle de perception, étroitement liée aux objectifs de l'étude. Les procédures de changement d'échelles restent en effet complexes et sont à elles seules un sujet d'étude (22) ■

***Remerciements** • Les auteurs tiennent à remercier le Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, département Elevage et Médecine Vétérinaire (CIRAD-EMVT, Action Thématique programmée « Santé-Environnement ») et le Centre National pour la Recherche Scientifique (CNRS, Programme Interdisciplinaire « Environnement, Vie et Société ») pour leur soutien à ce projet.*

REFERENCES

1 - COMBES C. - Interactions durables, Ecologie et évolution du parasitisme. Masson ed., Paris, 1995, 524 p.

2 - DE LA ROCQUE S., BENGALY Z., MICHEL J.F. et Coll. - Importance des interfaces spatiales et temporelles entre les bovins et les glossines dans la transmission de la trypanosomose animale en Afrique de l'Ouest. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.* 1999 ; **52** : 215-222.

3 - AMAT-ROZE J.M., GENTILINI M. - La santé en carte. In « Penser la terre, stratège et citoyens, le réveil des géographes ». Autrement ed., Paris, 1995, pp 119-137.

4 - DE LA ROCQUE S., MICHEL J.F., CUISANCE D. et Coll. - Le risque trypanosomien, une approche globale pour une décision locale. Cirad ed., Montpellier, 2001, 152 p.

5 - TOUTAIN B., DUMAS R., TACHER G. - Zone pastorale d'accueil de Sidéradougou (Haute Volta). Etude préliminaire. IEMVT, Maisons Alfort, France.

6 - DE LA ROCQUE S. - Identification des facteurs discriminants de la présence de glossines dans une zone agro-pastorale du Burkina Faso. Intérêt pour l'évaluation du risque trypanosomien. Thèse de Doctorat en Science, Montpellier, 1997, 162 p.

7 - CHALLIER A., LAVEISSIERE C. - Un nouveau piège pour la capture des glossines (*Glossina : Diptera - Muscidae*), description et essais sur le terrain. Cahier de l'ORSTOM, Série Entomologie médicale et Parasitologie, 1973, n°11, 251-262.

8 - SOLANO P., ARGIRO L., REIFENBERG J.M. et Coll. - Field application of the Polymerase Chain Reaction (PCR) to the detection and characterization of trypanosomes in *Glossina longipalpis* in Côte d'Ivoire. *Mol. Ecol.* 1995 ; **4** : 781-785.

9 - SOLANO P., REIFENBERG J.M., AMSLER-DELAFOSSE S. et Coll. - Trypanosome characterization by polymerase chain reaction in *Glossina palpalis gambiensis* and *Glossina tachinoides* from Burkina Faso. *Med. Vet. Entomol.* 1996 ; **10** : 354-358.

10 - D'AMICO F. - Rôle de *Glossina fuscipes fuscipes* Wewstead, 1910, dans la transmission des trypanosomoses bovines en Afrique centrale. Cas de la zone d'élevage d'Ouro - Djafoun (République centrafricaine). Thèse Doctorat en Science, Montpellier, 1993, 160 p.

11 - DE LA ROCQUE S., LEFRANÇOIS T., REIFENBERG J.M. et Coll. - PCR Analysis and spatial repartition of trypanosomes infecting tsetse flies in Sideradougou area (Burkina Faso). *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 1998 ; **849** : 32-38.

12 - CHALLIER A. - Ecologie de *Glossina palpalis gambiensis* Vanderplanck 1949 en savane d'Afrique Occidentale. Orstom ed., Montpellier, 1973, 274 p.

13 - LAVEISSIERE C., BOREHAM P.F.L. - Ecologie de *Glossina tachinoides* Westwood, 1850, en savane humide d'Afrique de l'Ouest. I. Préférences trophiques. Cah. ORSTOM, Série Entomologie médicale et Parasitologie, 1976, n° 14, 187-200.

14 - MICHEL J.F., MICHEL V., DE LA ROCQUE S. et Coll. - Modélisation de l'occupation de l'espace par les bovins. Applications à l'épidémiologie des trypanosomoses animales. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.* 1999 ; **52** : 25-33.

15 - AUGUSSEAU X., PARE S., SARE J. B. - Caractérisation régionale de l'emprise agricole et de sa dynamique dans une zone de migrations. Rapport d'activité INERA, Farako Ba, Bobo Dioulasso, Burkina Faso, 1998, 20 p.

16 - DE LA ROCQUE S., AUGUSSEAU X., GUILLOBEZ S. et Coll. - The changing distribution of two riverine tsetse flies over 15 years in an increasingly cultivated area increasingly occupied by agriculture in Burkina Faso. *Bull. Entomol. Res.* 2001 ; **91** : 157-166.

17 - GUILLOBEZ S. - Les milieux vertiques du bassin de la Volta Blanche dans la région de Bagre (Haute Volta). *L'Agronomie Tropicale* 1979 ; **34** : 23-39.

18 - DE LA ROCQUE S., DIALLO M., AUGUSSEAU X. et Coll. - Evolution des structures ligneuses riveraines (forêts galeries) dans la zone agro-pastorale de Sidéradougou (Burkina Faso) et recherche des causes anthropiques. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.* (soumis).

19 - ROGERS D.J. - Tsetse population dynamics and distribution : a new analytical approach. *J. Animal Ecology* 1979 ; **48** : 825-849.

20 - BUREL F., BAUDRY J. - Ecologie du paysage. Concept, méthodes et applications. 1999. Editions Techniques Doc, Paris, France, 348 p.

21 - BERTRAND G. - Le paysage entre la nature et la société. *RGPSO* 1978 ; **49** : 239-258.

22 - HENDRICKX G., DE LA ROCQUE S., REID R., WINT W. - Spatial trypanosomosis management : from data-layers to decision making. *Trends Parasitol.*2001 ; **17** : 35-41.