Télédétection, 2005, vol. 5, n°(1-2-3), p. 139–152

© 2005 CONTEMPORARY PUBLISHING INTERNATIONAL
Publié sous l'enseigne *Éditions scientifiques GB*

SYSTÈME D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE ET ÉPIDÉMIOLOGIE DE LA BILHARZIOSE DANS LA RÉGION DE MANANDRIANA, MADAGASCAR

PASCAL RAMANANTSIZEHENA[a] et BRUNE RAMIRANIRINA[b]

[a] *Département Information Géographique et Foncière,*
École Supérieure Polytechnique d'Antananarivo (E.S.P.A.),
B.P. 150, 0 Antananarivo, Madagascar
Téléphone : (261) 20 22 490 00
Courriel : pramantsizehena@wanadoo.mg

[b] *Unité d'épidémiologie de l'Institut Pasteur de Madagascar (I.P.M.),*
B.P. 1274, Antananarivo, Madagascar

(soumis : 12 mars 2004 ; révisé : 26 mai 2004 ; accepté 2 août 2004)

La bilharziose à *Schistosoma mansoni*, maladie à vecteurs, constitue une des causes de décès en milieu rural à Madagascar. La sous-préfecture de Manandriana fait partie des zones endémiques des hauts plateaux malgaches. Le traitement tant des points d'eau considérés contaminés que de la population environnante ne s'avère plus adéquat. Une baisse sensible et régulière de la morbidité nécessite un dépistage et un traitement prioritaires de la population dans les foyers hyper-endémiques de la région. Une éradication efficace de la maladie nécessite d'identifier et de localiser ces foyers.

Dans cette étude, la détermination des zones à risque bilharzien résulte de l'analyse combinée des données épidémiologiques, socio-démographiques et cartographiques. Les données épidémiologiques constituent notre principale source d'information sur le niveau d'endémie au sein de la région étudiée. Les données socio-démographiques nous renseignent sur le nombre d'habitants, la densité de la population, sa vie quotidienne et plus particulièrement ses activités en relation directe avec l'eau. Les données cartographiques comprennent le réseau hydrographique, le réseau routier, les rizières, un modèle numérique d'altitude (MNA) et les informations d'une image HRVIR de SPOT-4. Le MNA permet d'identifier le sens d'écoulement de l'eau, l'eau étant le principal vecteur de la maladie étudiée.

Les zones à risque de contamination, les foyers d'infection primaires probables et le sens de propagation possible de la bilharziose, sont ainsi déterminés. La démarche utilisée permet alors de proposer des scénarii d'évolution de l'endémie et d'obtenir une meilleure répartition des moyens, très limités, de lutte utilisés.

Mots-clefs : bilharziose ; dépistage ; niveau d'endémie ; facteurs de risque de transmission ; zones à risque de contamination ; télédétection ; SIG.

GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM AND EPIDEMIOLOGY OF THE BILHARZIOSE IN THE REGION OF MANANDRIANA, MADAGASCAR

The *Schistosoma mansoni* bilharziose currently concerns three millions of Malagasy among a total population of fifteen millions. It constitutes one of the reasons of death in farming environment. The region of Manandriana is part of the regions of the island touched by this scourge. It is a vectors illness. The man, the parasite, the intermediate host (the *Biomphalaria pfeifferi* mollusk) and the surface waters form the elements of the cycle according to which the disease is transmitted. The methods used until now which consist in treating the contaminated presumed surface waters and the surrounding population, don't prove any longer to be sufficient to get a regular and sensitive decrease of the endemic level.

Some more pragmatic strategies of struggle are necessary to stop or at least attenuate the development of this bilharziose. A collaboration in force since 1999 between the Malagasy Office of Struggle against Transmission Diseases and the Pasteur Institute of Madagascar.

(IPM in French) has for objective to better manage the current medical infrastructures. It is hence forth about treating the water surfaces and the surrounding population, as a matter of priority, in the hyper endemic zones. This work aims to identify and to delimit these zones. The used methodology explores new tools involving in particular high resolution satellite images. The determination of the risk of transmission zones (presenting high prevalence) necessitates the combined analysis of the epidemiological, socio-demographic and cartographic data.

The epidemiological data constitute our main source of information on the endemic level within the studied area. They are the results of a screening campaign essentially waged in 28 primary schools of the investigated region. Their endemic levels have been determined after reading, in the laboratory of the IPM, of the stools of the sampled pupils. The socio-demographic data inform us on the number of inhabitants, the density of the population, its daily life and more especially its activities in direct relation with the water. The cartographic data consist of the hydrographic network, the rice fields, the road network, a numeric model of land or MNT in French and the data extracted from an image produced on July 21 1998 by the HRVIR of SPOT-4.

The hydrographic network and the rice fields are very frequented by the population who infests himself at these places. The road network comprising the routes for the zebus, represent zones of exchange and important contamination. The MNT permits to identify the direction of water out-flow, main vector of the studied illness.

The risk of contamination zones, the sources of likely infection and the direction of possible propagation of the curse are thus determined. This new approach leads to the localization of the zones characterized by high prevalence and allows to suggest screenplays concerning the evolution of the endemic. A better management of the struggle means, which are unfortunately very limited, is then expected.

Keywords : bilharziose ; screening ; endemic level ; risk of transmission factors ; risk of contamination zones ; remote sensing ; GIS.

1. INTRODUCTION

Depuis 1997, la direction de la lutte contre les maladies transmissibles (DLMT) du Ministère malgache de la santé a entrepris une intensification de ses interventions en milieu rural en vue d'éradiquer, ou tout au moins d'atténuer le développement des bilharzioses. C'est dans ce cadre que la lutte contre la bilharziose à *Schistosoma mansoni* a fait l'objet, en 1999, d'une collaboration entre l'Institut Pasteur de Madagascar (IPM) et la DLMT. Ces deux institutions ont alors décidé d'explorer de nouveaux outils faisant intervenir notamment les images satellitaires à haute résolution spatiale pour la localisation des zones à risque et, donc, l'optimisation des campagnes de dépistage correspondantes.

La bilharziose à *Schistosoma mansoni* touche actuellement 3 millions de personnes sur une population de 15 millions d'habitants d'après les statistiques de la DLMT (Rakotonirina et Solonavalona, 2001). Constituant une des causes de décès en milieu rural, elle se transmet selon un cycle bien déterminé. Les œufs contenus dans les selles des humains et rejetés au milieu naturel vont éclore dans l'eau douce et aller à la recherche de leur hôte intermédiaire qui est le mollusque *Biomphalaria pfeifferi*. De cette manière, l'humain, le parasite, l'hôte intermédiaire et les eaux de surface maintiennent le cycle d'évolution de cette schistosomiase. Les méthodes de lutte pratiquées depuis des années consistent essentiellement à traiter tant les points d'eau considérés contaminés que la population environnante : elles ont très souvent abouti à des échecs à cause des insuffisances des moyens investis.

L'éradication de la schistosomiase exige aujourd'hui des stratégies de lutte plus conséquentes. Il s'agit de rompre le cycle d'évolution de ce fléau prioritairement dans les zones hyper-endémiques afin de freiner autant que possible sa propagation et de mieux rentabiliser les interventions du personnel médical.

Vu le mode de transmission de cette maladie, une connaissance complète des principaux facteurs liés à sa propagation est nécessaire (Keith *et al*., 1996). De même, une analyse de la relation entre le niveau d'infestation de la population et la localisation des lieux d'habitation ou de travail s'avère incontournable (Nutall *et al*., 1998). Une combinaison de la détermination du niveau d'endémie avec la cartographie des foyers de bilharziose est ainsi envisagée, d'où la nécessité de colliger et de croiser les données épidémiologiques, socio-démographiques et cartographiques.

Deux avantages principaux sont attendus de cette nouvelle approche : *1)* les points d'eau ne seront plus traités comme auparavant, c'est-à-dire sur simple présomption de contamination ; *2)* les opérations de dépistage et de traitement de la population se feront avant tout dans les zones à risque bilharzien.

2. DESCRIPTION DU SITE D'ÉTUDE

La zone d'étude est constituée par la sous-préfecture de Manandriana, située dans la partie nord de la province de Fianarantsoa (figure 1). Elle se trouve dans l'une des régions de l'île touchées par cette bilharziose. Située sur les hautes terres centrales entre 20°34' et 20°04' de latitude sud et entre 46°51' et 47°11' de longitude est, elle s'étend sur 1 027 km^2 avec 214 km de périmètre et a 65 000 habitants répartis dans cinq communes rurales d'après le dernier recensement officiel de 2001.

La région étudiée recoupe deux bassins versants : le grand bassin de Manandriana qui couvre la partie sud de la région, soit au sud de Manandriana, et le basin d'Ankona dans la partie nord, soit au sud d'Anjoman'Ankona. Ces deux bassins sont essentiellement rizicoles. Deux autres cours d'eau, l'Andrarohotra et l'Ikalo, sillonnent la région et se déversent dans les principales rivières, notamment la Manandriana et l'Ankona. L'altitude du terrain se situe entre 1 100 m et 1 800 m.

Le climat est caractérisé par une période chaude et pluvieuse de novembre à mars et une période de climat frais mais moins arrosé d'avril à octobre. La température moyenne varie de 5,2 °C à 28 °C au cours de l'année (Direction régionale de la météorologie). La pluviométrie moyenne est de 2 550 mm pendant la saison chaude et pluvieuse et elle est de 25 mm pendant la saison fraîche (Direction régionale de la météorologie). Ce climat tropical d'altitude favorise l'expansion de la maladie.

Les activités principales de la population sont partagées entre la culture irriguée, les cultures vivrières sur colline et de contre-saison ainsi que l'élevage des zébus.



FIGURE 1 Carte de localisation de la zone d'étude. *Place of the studied area.*

3. MATÉRIEL ET MÉTHODES

La démarche adoptée dans cette étude fait appel au recueil et au croisement des données cartographiques et d'imagerie satellitaire ainsi que de résultats d'enquêtes socio-démographiques et de dépistage.

3.1. Cartes topographiques

Sept cartes topographiques à l'échelle du 1/50 000 et datant de 1970 ont été utilisées pour couvrir l'ensemble du secteur étudié. Obtenues auprès de l'Institut de cartographie et d'hydrographie, dont le sigle en malgache est F.T.M., elles correspondent aux coupures N51 nord, O51 nord, N51 sud, O51 sud, N52 nord, O52 nord et N52 sud. L'échelle du 1/50 000 a été choisie car elle convient à la méthodologie appliquée pour l'identification des zones à risque de contamination et aux différentes analyses effectuées, compte tenu de la superficie de la zone d'étude. Elle est en particulier cohérente avec la résolution spatiale de l'image HRVIR de SPOT-4.

Ces cartes ont servi à géoréférencer toutes les données (données des images et des enquêtes) en projection Laborde-Madagascar et elles sont, de ce fait, utilisées comme fonds de plans vectoriels. Les paramètres de cette projection ont été introduits dans un fichier MapInfow.prj. de MapInfo 5.0. Cette projection présente l'avantage essentiel d'être compatible avec de nombreux logiciels de systèmes d'information géographiques (SIG).

Le travail de numérisation de ces cartes comprend quatre étapes :

– la numérisation, qui est réalisé avec le logiciel Photoshop 5.0. et le numériseur EPSON JT 9500, présente une résolution de 180 dpi (*dots per inch*) ;

– l'amélioration dynamique qui permet d'améliorer le contraste et la luminosité de l'image obtenue ; celle-ci est ensuite exportée sous format TIFF (*Tagged-Image File Format*) pour servir dans d'autres logiciels ;

– les transformations ou corrections géométriques, où les fichiers images format TIFF sont traités avec le logiciel Multiscope 2.4 pour éliminer les erreurs d'échelle liées à la déformation du papier ainsi que les rotations ou déplacements dus au mouvement du matériel de numérisation ; ces fichiers sont ensuite transformés dans un autre format qui est une extension du fichier image dans Multiscope, avant les opérations de mosaïcage et de calage ;

– le mosaïcage et le calage : le mosaïcage consiste à juxtaposer toutes les images cartographiques en une seule image, en fonction de leur emplacement exact ; le nombre d'images à assembler doit toutefois être limité pour que le fichier produit ne soit pas trop grand et pour qu'il soit plus facile à exploiter dans les autres logiciels ; pour leur part, les traitements appliqués au cours de l'opération de calage consistent à attribuer à chaque fichier les coordonnées géographiques de la partie d'espace dont il est l'image ; les fichiers images sont calés géographiquement au moyen de Mapinfo ; chaque pixel est identifié dans le système Laborde-Madagascar.

La numérisation de ces cartes a permis l'obtention des données cartographiques, comme le réseau hydrographique, le réseau routier, les rizières et le modèle numérique d'altitude (MNA).

La réalisation du MNA suit les étapes suivantes. Les courbes de niveau sont numérisées au moyen du logiciel MapInfo à partir des cartes topographiques, en faisant un suivi point par point des lignes caractéristiques du relief. Il s'agit de déterminer tout particulièrement les lignes de crête et les thalwegs. Chaque courbe est alors définie numériquement par son altitude. La méthode d'interpolation choisie pour le calcul du MNA est la triangulation (Bonn et Escadafal, 1996). Cette méthode transforme le fichier vecteur en mode matriciel. La surface du terrain est alors représentée par des petits carrés superposés à une grille numérique régulière munie d'un pas constant. Chaque pixel possède ainsi une information en altitude à laquelle correspond une

couleur donnée. Le bleu correspond à l'altitude la plus basse et le rouge à celle la plus élevée, ce qui permet une bonne délimitation des bassins versants. Seules les courbes de niveau maîtresses sont prises en compte (équidistance de 100 m) pour visualiser l'allure générale du relief de la région ainsi que les contours des bassins versants, chaque courbe étant définie par son altitude. Le sens de l'écoulement de l'eau, principal vecteur de la maladie étudiée, est ainsi identifié. Le MNA est traité ici dans la fonction Vertical Maper de MapInfo (figure 2).

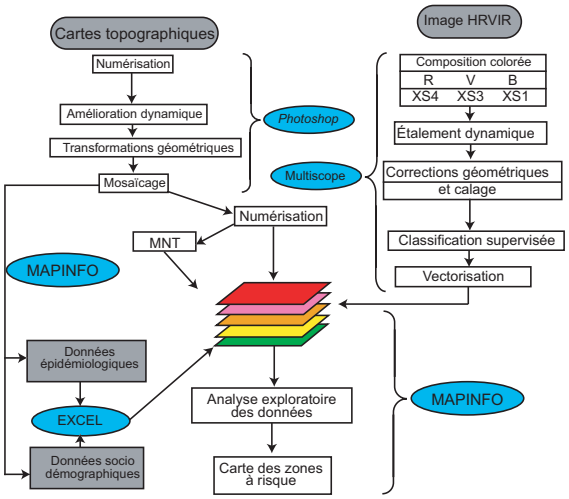


FIGURE 2 Diagramme de la méthodologie utilisée. *Used method diagram.*

3.2. Image HRVIR de SPOT-4

Comme les cartes topographiques ayant servi à obtenir les données cartographiques datent de 1970, il a été jugé opportun et pertinent de les compléter avec les informations provenant d'une image satellitaire. Cette décision est d'ailleurs en conformité avec l'esprit du cahier des charges de l'IPM et de la DLMT. Ces informations sont extraites de l'image 4 K-J 169-391 du capteur à haute résolution visible infrarouge HRVIR, le 21 juillet 1998.

Les canaux XS4 (moyen infrarouge ou MIR), XS3 (proche infrarouge) et XS1 (vert) sont utilisés pour la réalisation de la composition colorée ayant servi à l'établissement de la carte d'occupation du sol. À cause de sa sensibilité à la teneur en eau du sol, le canal XS4 permet une bonne cartographie des sols ruisselants ou filtrants et des cultures irriguées dans les zones inondées et les rizières. Son apport est significatif pour la caractérisation des zones humides. Il ne peut cependant être utilisé seul car il faut distinguer, pour les besoins de l'étude, les rivières des rizières. Le canal XS3 est celui où les végétaux chlorophylliens présentent la plus forte valeur de réflectance, comparée à celles des sols puis de l'eau, et rend de ce fait aisée la classification de la végétation de type riziculture. Le canal XS1 où la réflectance des sols est la plus forte, offre une bonne visibilité des routes et des sols nus. La composition colorée qui en résulte facilite l'établissement de la carte d'occupation du sol ; cette dernière aide à l'analyse des liens entre le niveau d'endémie et le type d'activité de la population.

La classification dirigée avec la méthode du maximum de vraisemblance a permis de localiser sur l'image huit classes d'occupation du sol, dont les zones inondées, les zones humides et les rizières (figure 3). Pour pouvoir être intégrée dans le SIG, l'image classée a été vectorisée. Cette opération consiste à transformer de façon automatique, sous forme vecteur, les résultats de la classification en mode matriciel. Elle aboutit à la formation d'une couche indiquant en particulier les zones humides ou inondées et les rizières de la région.

Une étude analogue effectuée au Japon a montré la possibilité d'un modèle de prédiction de la schistosomiase, autre appellation de la bilhaziose, en utilisant des données obtenues par télédétection (Mott *et al.*, 1998).

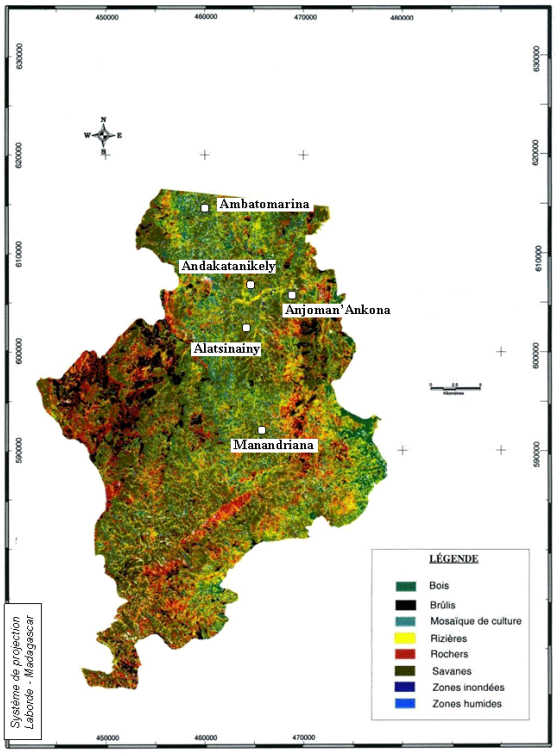


FIGURE 3 Carte d'occupation du sol extraite de l'image HRVIR de SPOT-4. *Landcover map from the SPOT-4 HRVIR image.*

3.3. Enquêtes socio-démographiques

La bilhaziose est en pleine expansion et constitue actuellement un problème de santé publique majeur. La prise en charge des malades est rendue difficile par la longue distance séparant les dispensaires et certains villages. De plus, les médicaments manquent très souvent. Une connaissance des habitudes et des activités de la population s'avère utile sinon nécessaire pour mieux cerner le développement de ce fléau. En effet, les indicateurs concernant la transmission de la bilharziose sont nombreux et ils reflètent souvent les aspects du mode de vie de cette population. Les enquêtes menées dans 30 villages ont conduit aux constats suivants :

– les marchés commencent à s'installer dans chaque commune et constituent des lieux très fréquentés par la population ;

– la riziculture constitue une activité économique majeure de la région ; les rizières sont fréquentées pour certains travaux (repiquage, sarclage, remise en eau, etc.) et constituent des lieux de contact permanent de la population avec l'eau ;

– les activités quotidiennes des gens comme la lessive, la baignade et les soins de propreté en différents points d'eau occasionnent des contacts prolongés de la population avec l'eau ; les lieux de défécation sont peu utilisés du moins quand ils existent ;

– sur le plan de l'élevage, le cheptel bovin occupe une place importante dans la vie de la population ; les zébus sont le plus souvent en pâturage libre une bonne partie de la journée et font très rarement l'objet de soins de toilettage ;

– dans le cadre de la lutte contre les mollusques, responsables du développement de *Schistosoma mansoni*, l'élevage des canards est encouragé et le nombre de lieux d'élevage est actuellement en croissance ; ces lieux, essentiellement familiaux, sont passé de 500, en 1997, à environ 1 500, en 2002, d'après le résultat de nos enquêtes ;

– la vannerie de toutes sortes reste toujours l'activité traditionnelle des femmes et des jeunes filles ;

– la population est majoritairement féminine et sa densité varie entre 67 et 143 habitants au km^2 suivant les communes.

La connaissance du cycle de la maladie permet de prévoir que sa propagation sera essentiellement favorisée par les aménagements hydro-agricoles, la fréquentation importante des points d'eau pour des travaux ménagers ainsi que l'insuffisance sinon l'absence de lieux de défécation. Ces enquêtes ont aussi permis de recueillir des informations sur la vie quotidienne de la population en général et plus particulièrement leurs activités et déplacements en relation avec l'eau. De même, des informations sur les villages ont été saisies au moyen du logiciel Excel.

Par ailleurs, afin de présenter la localisation des écoles visitées et les villages auxquels elles sont rattachées, quatre points d'amer ont été pris pour le calage de la carte correspondante. Le système de coordonnées Laborde-Madagascar est choisi comme système de coordonnées pour toutes les couches d'information. Cette condition joue un rôle très important lors du croisement et la superposition de ces différentes couches.

3.4. Campagne de dépistage

Une première campagne sur le terrain a permis de recueillir la liste exhaustive des écoles primaires de la zone d'étude, de les repérer et de prendre contact avec les élus locaux. Une seconde campagne a consisté en une enquête épidémiologique dans les écoles primaires dont 25 écoles publiques et 3 écoles privées.

3.4.1. Méthode d'échantillonnage

La première étape de l'enquête épidémiologique consiste à faire un échantillonnage auprès des élèves de chaque école car il n'est pas question non plus de tous les contrôler. On a utilisé la méthode LQAS (*Lot quality assurance sampling*) (Rabarijaona, 1998), D'abord mise en place pour des applications industrielles, cette méthode a été utilisée pour classer les écoles de la région en zone hyper-endémique ou non, avec plan de sondage (16,6). Le plan de sondage (16,6) signifie que si, sur un échantillon tiré au sort de 16 élèves, plus de 6 sont parasités, l'école est classée hyper-endémique.

Quatre cent quarante huit élèves, dont 16 choisis dans chacune des 28 écoles de la région, ont ainsi bénéficié d'un examen de selles au cours de cette campagne. Une analyse plus fine des zones à risque nous a conduit à définir trois catégories différentes dans la classe non hyper-endémique. Ainsi si x = ep désigne le nombre d'élèves parasités sur les 16 tirés au sort, on a une école méso-endémique si $5 \leq x \leq 6$, on a une école hypo-endémique si $1 \leq x \leq 4$ et on a une école indemne si x = 0. Une procédure analogue a permis de déterminer les villages hyper-endémiques ou non.

3.4.2. Recueil des selles et lecture parasitologique

Des tubes de prélèvement contenant du liquide Merthiolate-Iode-Formol (MIF) et divers accessoires pour la conservation des selles ont été utilisés en vue de leur lecture parasitologique ultérieure. La lecture des échantillons de selles prélevés pour le dépistage des œufs du parasite a été effectuée au laboratoire du Service central de lutte contre les bilharzioses de l'IPM. La saisie et le traitement des informations relatives aux échantillons prélevés ont été réalisés à l'E.S.P.A. Des informations sur les établissements

scolaires ont été également saisies au moyen du logiciel Excel pour un traitement statistique.

3.5. Mise en place proprement dite du SIG

En vue de la mise en œuvre proprement dite du SIG, tous les objets utiles à l'étude sont numérisés. Ainsi, par exemple, les rizières et les limites administratives sont représentées par des polygones, l'hydrographie et les réseaux routiers par des lignes, tandis que les communes, écoles et marchés, etc. sont matérialisés par des symboles ponctuels. C'est à ce niveau que sont introduites toutes les données relatives à chacun des objets ainsi créés : c'est l'opération topologie et codage numérique de chaque objet. Elle consiste à générer automatiquement le centroïde de chaque objet ainsi que sa distance par rapport aux autres objets. Il faut ensuite définir les objets de chaque couche en créant un tableau contenant les différents types d'objets répertoriés et un code numérique clé permettant de rattacher chaque objet à l'ensemble de ses attributs. Sur le tableau 1, on donne un exemple de la structure de base de données. On y donne aussi les résultats de dépistage obtenus dans cinq écoles de la sous-préfecture de Manandriana. On peut procéder de façon analogue pour les autres bases de données et obtenir ainsi différentes couches d'informations. La mise en relation de ces dernières permet d'obtenir une base de données à référence spatiale où tout objet est identifié par un code et géoréférencé dans une même projection.

Il est utile de rappeler ici que le but fixé n'était pas d'établir un modèle conceptuel de SIG mais de définir et de localiser les zones hyper-endémiques. En effet, un modèle complet d'évolution spatio-temporelle de la maladie nécessite de connaître certains facteurs climatiques. Ces derniers jouent un rôle important dans la bio-écologie des mollusques hôtes intermédiaires. En conséquence, si les activités liées à la riziculture ont lieu au moment où l'émission des furcocercaires par les mollusques est massive, le contact étroit et prolongé humain-eau va certainement augmenter le risque de transmission de la maladie. Toutefois, si on veut absolument poser les bases du modèle conceptuel, il faut passer par les trois étapes suivantes qui consistent à : *1)* localiser et cartographier les différentes zones d'endémie ; *2)* établir une base de données géoréférencées pour définir les interventions prioritaires ; *3)* prévoir l'évolution spatio-temporelle de la maladie.

TABLEAU 1 Résultats de dépistage dans cinq écoles de la région de Manandriana. *Results of the screening in five schools of the area of Manandriana.*

Code	École	Village	Cas positif	Niveau d'endémie	X (m)	Y (m)
113 G	Antanifotsy	Antanifotsy	0	Non hyper-endémique	469 400,5	601 756,8
107 J	Antapia	Antapia	2	Non hyper-endémique	467 965,7	598 204,3
105 H	Antsahavory N	Antsahavory N	0	Non hyper-endémique	466 378	604 107,4
104 I	Bemongo	Bemongo	0	Non hyper-endémique	461 822,2	603 584,8
EP-S	Ambohimahazo	Ambohimahazo	7	Hyper-endémique	466 451,8	601 695,1

X et Y = coordonnées des écoles

4. RÉSULTATS

Le repérage des zones à risque bilharzien repose essentiellement sur l'interprétation des cartes de facteurs de risque de transmission et des résultats des opérations de dépistage au niveau des écoles.

Sur le tableau 1, on montre les résultats de dépistage obtenus auprès de cinq écoles situées dans la zone d'étude. La colonne « Code » y représente le code numérique constant permettant d'identifier l'objet « école » et X et Y représentent les coordonnées de ces écoles dans le système de projection Laborde-Madagascar. En d'autres termes, X et Y représentent la topologie de l'objet ponctuel (correspondant au village où se trouve l'école) créée de façon automatique. La colonne « cas positif » représente, elle, le nombre d'élèves contaminés sur les 16 élèves testés.

Sur le tableau 2, on donne le résultat parasitologique, en fonction du sexe, des élèves testés dans les cinq communes rurales de la sous-préfecture de Manandriana. Le sexe masculin est probablement majoritairement contaminé ; ceci est principalement dû au fait que les garçons s'adonnent plus volontiers que les filles aux baignades. En effet, les filles ne participent aux travaux de riziculture que lorsqu'elles ont dépassé l'âge scolaire.

Sur la figure 4, on représente la carte de l'hydrographie et des rizières de la région étudiée. Les cours d'eau, lieux privilégiés d'infestation, sont très fréquentés par la population et on peut en

visualiser la répartition par rapport à l'emplacement des villages. Par ailleurs, l'hôte intermédiaire se trouve toujours dans des eaux permanentes et souillées ou faiblement courantes, et comportant une végétation indispensable pour leur développement. C'est généralement le cas des rizières. Sur la carte, est également représentée le réseau routier principal. Formé de routes et de pistes, ce réseau sert de base à l'analyse des activités et des déplacements de la population.

Sur la figure 5, on indique la localisation des marchés avec leur zone d'influence. Elle résulte de l'analyse des couches d'information « marchés » et « flux de population allant à ces marchés » de la base de données. Cette localisation est importante pour les raisons suivantes :

– les marchés sont essentiellement des lieux de mouvements intenses et réguliers de la population ;

– les mouvements de population constituent des facteurs importants d'extension de la schistosomiase.

Sur la figure 6, on montre le parcours des troupeaux et l'emplacement des marchés aux zébus. Elle provient des couches d'information relatives à la répartition des zébus par commune et à la dispersion rapide des parasites par ces zébus. Ce parcours représente en particulier les pistes empruntées par les troupeaux de zébus venant du sud et qui traversent la zone d'étude avant de rejoindre l'axe NE. Les zones de parcours de zébus sont des lieux d'échange et de contamination possibles à partir de foyers très éloignés. En effet, les mollusques hôtes intermédiaires peuvent être accessoirement transportés à grande distance par les boues séchées, ces dernières étant ramenées par les sabots jusqu'aux marchés aux zébus.

Sur la figure 7, on fournit des renseignements sur la variabilité du niveau d'endémie des écoles avec le relief. Elle résulte de la superposition du MNA avec la répartition des écoles endémiques. Les constats sont les suivants :

– sur les 28 écoles publiques et privées concernées, 23 sont déclarées non hyper-endémiques ;

– pour chaque école hyper-endémique, chaque élève positif provient d'un des neuf villages hyper-endémiques ;

– toutes les écoles classées hyper-endémiques sont situées à une altitude inférieure à 1 450 m ;

– deux zones principales de regroupement d'écoles dites hyper-endémiques, l'une au sud l'autre au nord, sont mises en évidence ; ces zones rassemblent les villages situés dans les parties à faible altitude des bassins versants ; par ailleurs, dans la zone située au nord, des écoles hyper-endémiques ont tendance à se regrouper dans le bas fond et au centre d'une zone de mouvements de population importants.

La délimitation proprement dite des zones à risque provient de la synthèse de trois couches d'informations (A, B et C).

La couche A représente les zones à risque de contamination. Elle est obtenue à partir de l'analyse des différentes cartes de facteurs de transmission et du MNA. Elle délimite les zones avec présence d'eau permanente, lieux où se développent les espèces « cercaires » de la bilharziose et les mollusques, d'où le risque de contamination pour les riziculteurs et les personnes chargées des tâches ménagères (lessive, etc.), ainsi que les zones de parcours des troupeaux de zébus. Les cercaires sont des larves de trématode, représentant une étape de développement de la bilharzie qui est le ver provoquant la bilharziose.

La couche B représente les foyers d'infection probables de la bilharziose. Neuf écoles parmi les 28 sont reconnues hyper-endémiques tandis que 12 autres, réparties dans la zone à risque de contamination, ne le sont pas. De plus, 7 écoles indemnes sont situées en aval des réseaux hydrographiques.

La couche C indique le sens de propagation possible de la bilharziose, ce qui constitue une information capitale concernant les mesures à prendre pour la résorber.

Sur la figure 8, on synthétise ces différentes informations et on fournit ainsi une carte des zones à risque de transmission de la maladie.

TABLEAU 2 Résultat parasitologique dans les cinq communes rurales de la région de Manandriana. *Parasitologic result in the five rural communes of the area of Manandriana.*

Communes	Écoles visitées	Élèves testés		Élèves parasités	
		Masculin	Féminin	Masculin	Féminin
Manandriana	12	108	84	42	10
Ambatomarina	1	6	6	6	2
Ambohimilanja	4	33	31	3	4
Andatanikely	5	44	36	6	3
Anjoman'Ankona	6	47	49	12	9
Total	28	240	208	71	28

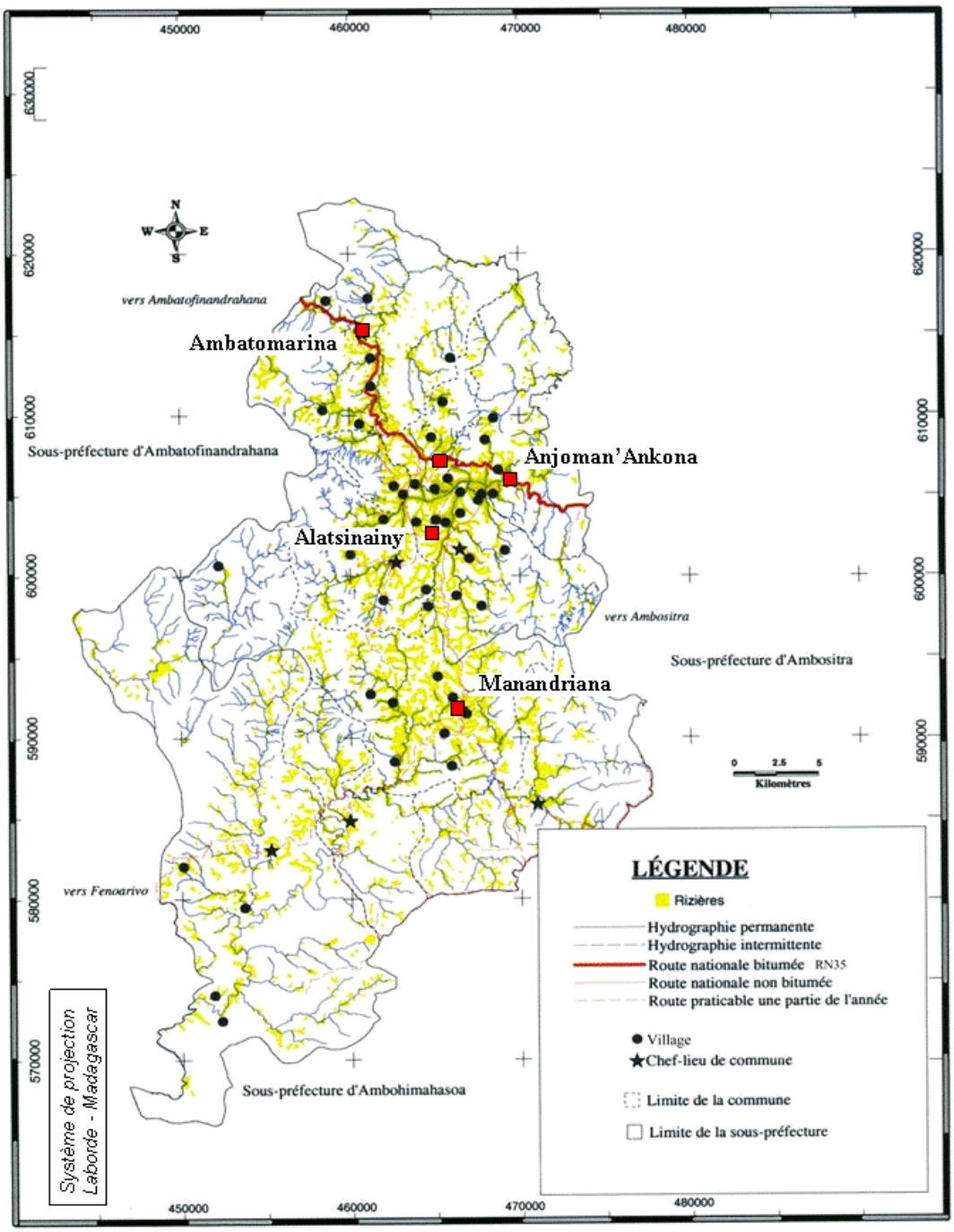


FIGURE 4 Carte de l'hydrographie et des rizières de la région étudiée. *Hydrography and the rice fields map of the studied area.*

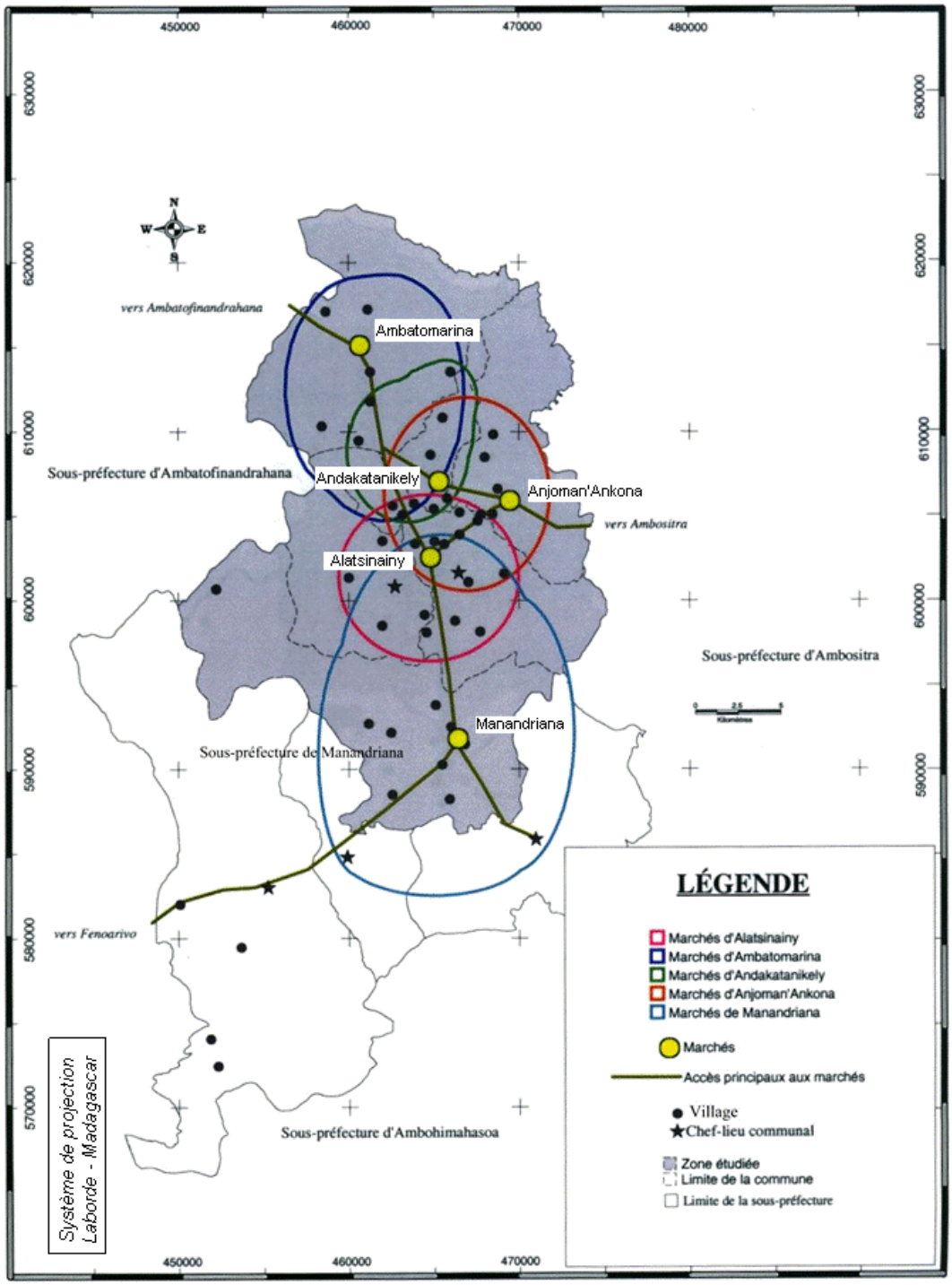


FIGURE 5 Localisation des marchés avec leur zone d'influence. *Location of the markets with their influence area.*

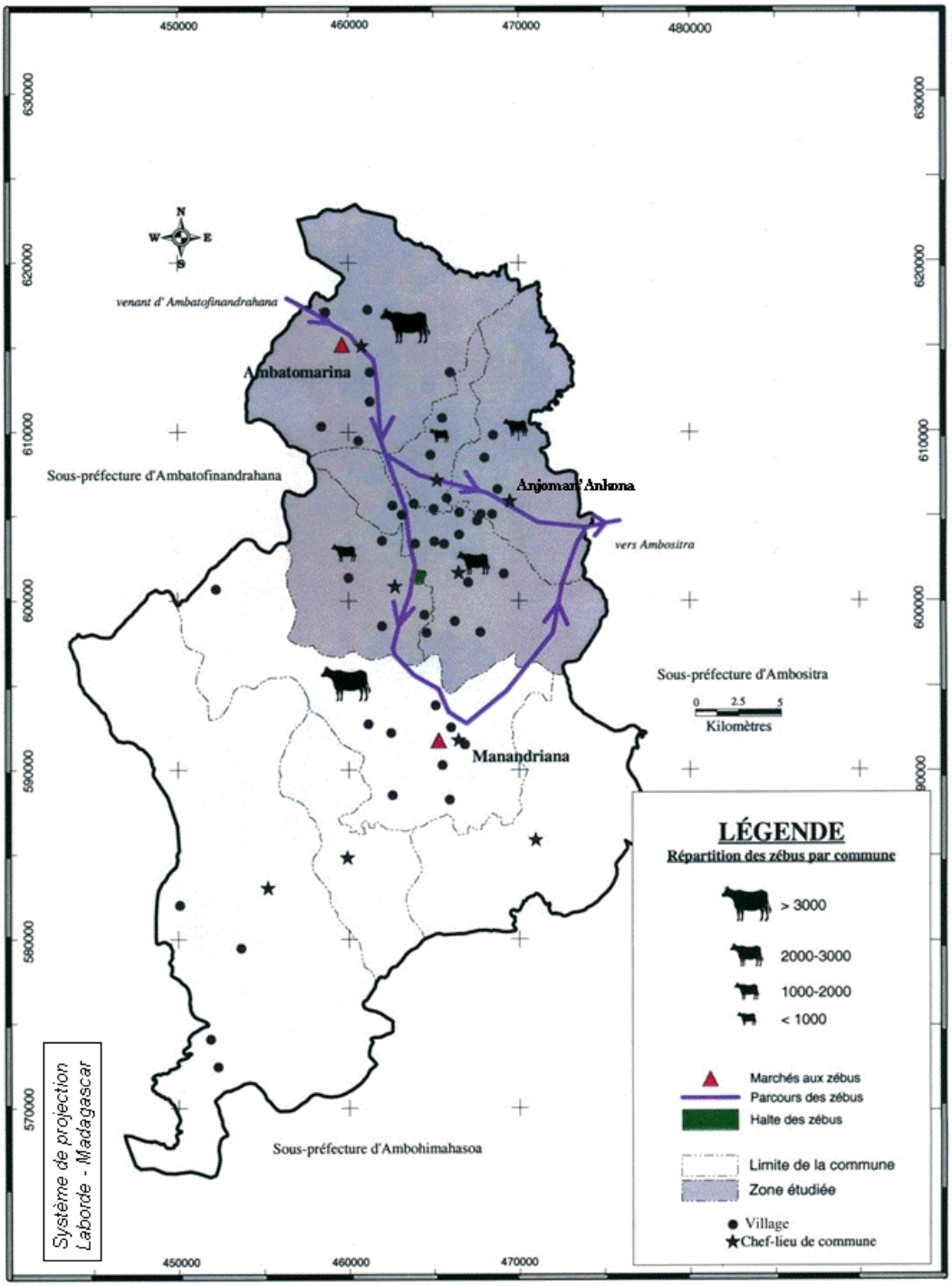


FIGURE 6 Présentation des parcours des troupeaux et de l'emplacement des marchés aux zébus. *Pattern of the herds paths and location of the oxen markets.*

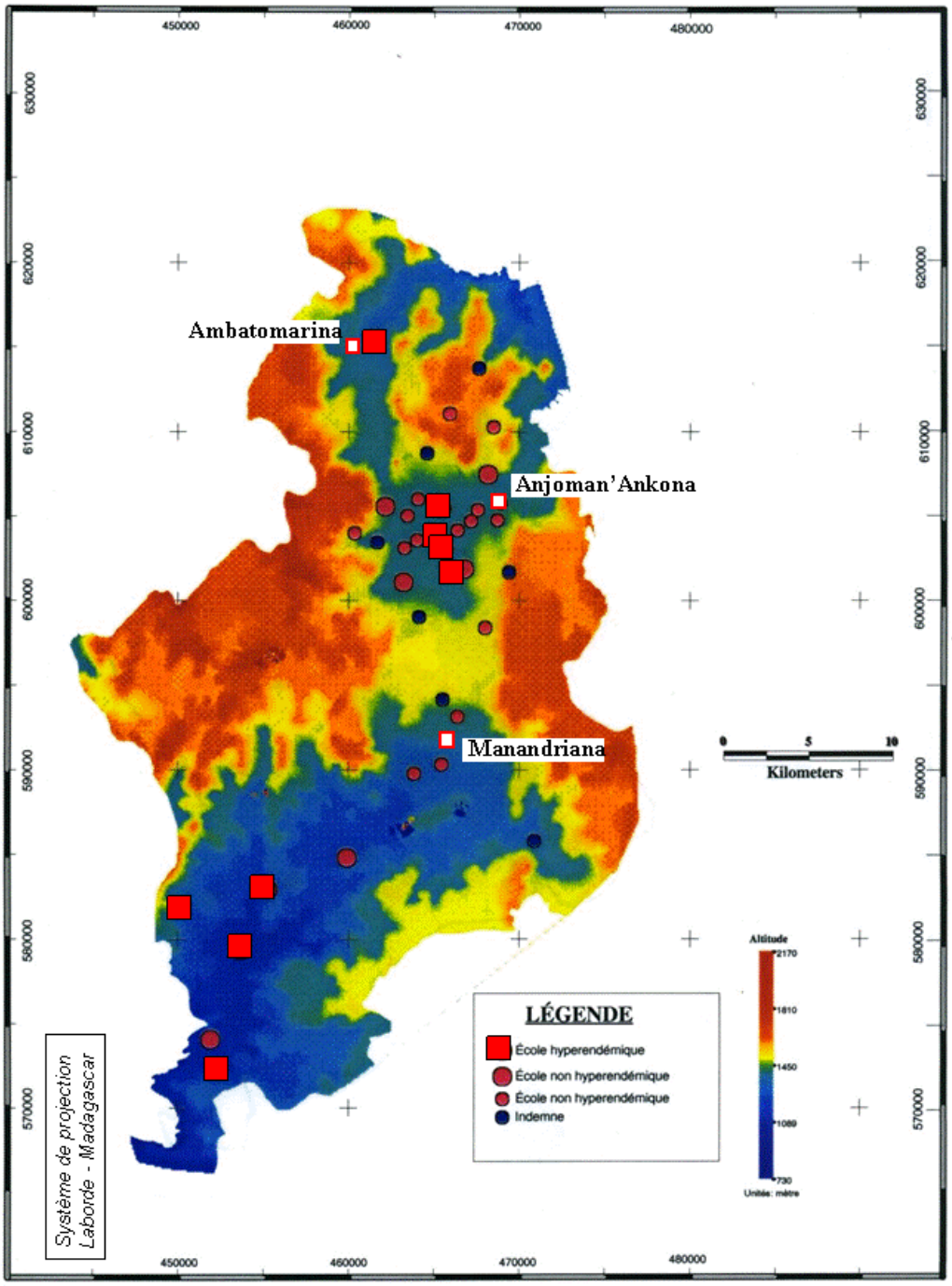


FIGURE 7 Carte représentant la variabilité du niveau d'endémie des écoles avec le relief. *Map of the variability of the schools endemic level with the landforms.*

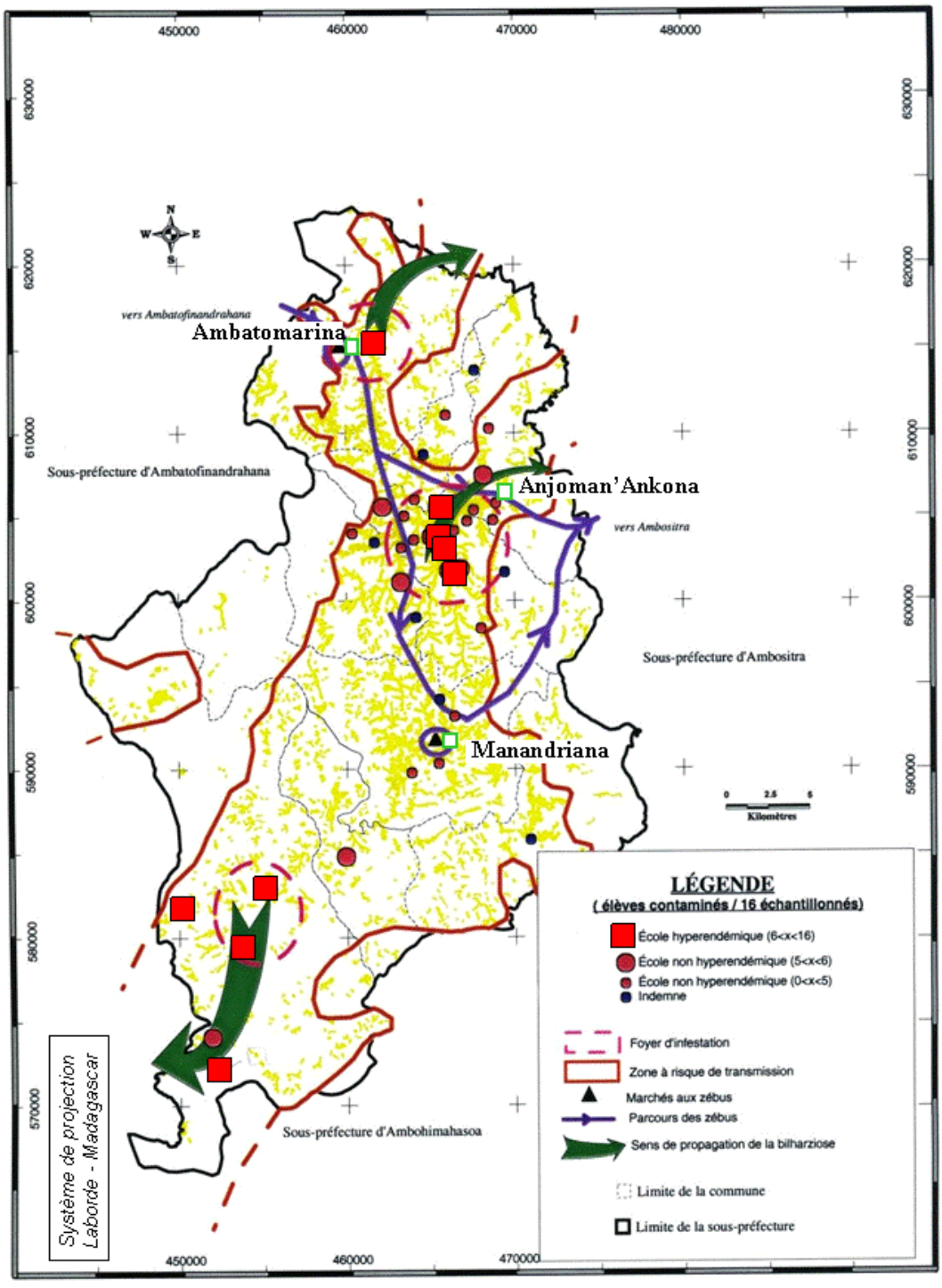


FIGURE 8 Carte des zones à risque de transmission de la bilharziose. *Map of the bilharziose risk transmission zones.*

5. DISCUSSION

Les données de télédétection, introduites dans le SIG, ont permis de mettre à jour la délimitation des zones humides permanentes. Les applications de la télédétection, c'est maintenant bien connu, se font de plus en plus dans le cadre d'un SIG et permettent de combiner les données y afférent à toute une gamme d'informations diverses. Le plus souvent, seule une portion des données est dérivée directement des images de télédétection, mais cette dernière est incontournable à la localisation des secteurs d'intervention prioritaires pour les décideurs. C'est, par exemple, le cas de notre étude épidémiologique.

Ainsi, l'analyse des résultats obtenus dans ce travail permet de confirmer le fait bien connu que les zones avec présence d'eau permanente (rizières, zones humides et cours d'eau) représentent un risque de contamination particulièrement important pour l'être humain dans cette région. La démarche suivie a abouti à la délimitation de la zone à risque bilharzien, ce qui constitue l'objectif principal visé. En effet, la spatialisation des résultats de dépistage permet de bien représenter la répartition du niveau endémique des écoles. La zone en dehors du risque de transmission se trouve à une altitude supérieure à 1 450 m et la plupart des écoles dans cette zone sont classées indemnes. Les élèves de l'école dite hyper endémique la plus au nord proviennent de villages tous situés le long de la route nationale 35. Ces villages, ainsi que ceux des autres communes, qui regroupent les autres écoles dites hyper endémiques, accueillent un marché très animé. Ils sont également traversés par des troupeaux de zébus venant de l'ouest et qui empruntent les principales pistes. De nombreux points situés sur leur passage servent de lieu d'abreuvoir pour ces derniers.

Il importe de noter que les milieux ci-dessus mentionnés ne sont pas les seules sources d'infestation pour la population. L'origine de celle-ci peut aussi dépendre d'autres paramètres qui méritent d'être étudiés comme, par exemple, les facteurs liés à l'ethnie, les tabous sociologiques, l'habitude de vie, *etc.* Leur influence sur la propagation du fléau est cependant relativement modérée car c'est la presque absence de fosses d'aisance qui caractérise essentiellement la région étudiée.

Notre approche du problème n'est certes pas non plus sans présenter quelques inconvénients. Ainsi, un des sujets de discussion possible concernant la validité de la méthodologie utilisée est le choix de la catégorie de population prise en compte pour effectuer la mesure du niveau d'endémie. Le choix du milieu scolaire se justifie alors de la manière suivante. De nombreuses enquêtes épidémiologiques ont montré que, dans une communauté donnée de la région, les enfants de 5 à 15 ans des zones d'hyper-endémiques présentent le taux de contamination le plus élevé. De plus, le système scolaire constitue un cadre favorable à ce type d'investigation, la grande majorité de ces jeunes (95 %) étant scolarisée. En outre, l'itinéraire menant des écoles à leur domicile est facile à établir et le plus souvent les enfants se baignent dans les rivières, même s'ils doivent effectuer de longs trajets avant de se livrer à ce loisir. L'école est alors choisie comme lieu privilégié pour évaluer le niveau d'endémie et ce d'autant plus que les enfants sont faciles à mobiliser en milieu scolaire pour ce genre d'enquête (Agbo *et al.*, 1996). Par ailleurs, certains villages ont fait l'objet du même type d'investigation en vue de leur classification.

Un autre thème de discussion peut être également l'utilisation de la méthode d'échantillonnage par LQAS. Comme toute méthode, elle présente des avantages et des inconvénients. Son point fort est qu'elle permet d'effectuer un dépistage à moindre coût et ne prend pas beaucoup de temps dans sa réalisation. L'inconvénient majeur est toutefois de tirer au sort, donc de façon arbitraire, des échantillons dont vont dépendre les résultats d'une campagne de mesures. Il ne s'agit toutefois pas de définir des critères de sélection, sinon on risque d'éliminer une partie intéressante de la population étudiée. Rappelons que cette méthode a été au point de départ utilisée pour des applications industrielles et qu'il n'est pas toujours très aisé d'innover dans des domaines sensibles, telle la santé publique. Ainsi, certaines démarches adoptées dans ce travail sont inspirées de l'approche de Huhn *et al.* (1997) dans leur étude de cette bilharziose dans le delta du Nil.

Par abus de langage, données épidémiologiques et parasitologiques sont souvent prises comme des synonymes, et on a tendance à réduire l'étude épidémiologique à l'analyse des résultats de dépistage. Il est donc utile de rappeler que le terme épidémiologie désigne, à lui seul, l'étude des différents facteurs conditionnant l'apparition, la fréquence, la répartition et l'évolution d'une maladie donnée.

Notons pour terminer que l'utilisation d'un SIG dans l'étude de l'évolution de cette maladie a fait son apparition depuis seulement une dizaine d'années (Barreto, 1993). Ce travail ne constitue qu'une pierre dans l'édifice de la lutte commune contre ce fléau.

6. CONCLUSION

Les résultats obtenus montrent que la télédétection et les SIG peuvent contribuer efficacement à l'appréciation de l'évolution de la bilharziose par la délimitation des zones à risque de contamination.

Les cartes des facteurs de risque de transmission identifiés permettent une représentation spatiale de ces facteurs, sur éventuellement une très grande superficie, et de composer cette information avec les résultats des enquêtes de dépistage réalisées, d'où le caractère relatif de cette étude par rapport à l'approche traditionnelle d'évaluation de la propagation de cette maladie. Cette nouvelle approche aboutit à la localisation des zones hyper-endémiques et permet logiquement de proposer des scénarii d'évolution de l'endémie. L'identification précise des zones hyper-endémiques est en effet indispensable à une lutte efficace contre cette bilharziose. Il doit en résulter une meilleure utilisation du personnel et des infrastructures médicaux. De plus, une parade plus efficace, comparée au traitement classique des points d'eau jugés contaminés, est désormais disponible pour mieux faire face à l'expansion de cette maladie qui concerne plus de 200 millions de personnes dans les pays en développement. Le choix en particulier des zones où seront menées les opérations de dépistage sera mieux orienté qu'auparavant.

Au vu de ces résultats, il est logique de penser que la méthodologie et les outils utilisés dans le présent cas pourront être adaptés dans d'autres régions de Madagascar pour le suivi d'autres maladies à vecteurs, liées à l'eau, et avec leurs indicateurs spécifiques.

Remerciements

Cette recherche se situe dans le cadre des opérations de renforcement de la lutte contre les bilharzioses. Elle a été initiée par la direction de la lutte contre les maladies transmissibles du ministère malgache de la santé. L'Institut de cartographie et d'hydrographie a bien voulu mettre à notre disposition les cartes topographiques et l'image satellitaire. Le financement a été assuré par le Service de coopération et d'action culturelle de l'Ambassade de France. Nous leur en sommes particulièrement reconnaissants.

Références

Agbo, K., Sodahlon, Y.K. et Doga, M. (1999) Prévalence de schistosomiases au Togo ; étude transversale réalisée en milieu scolaire. Médecine tropicale, vol. 1, n° 59, p. 51-59.

Barreto, M.L. (1993) The Dot Map as an epidemiological tool : A case study of Schistosoma mansoni infection in an urban setting. International Journal of Epidemiology, vol. 22, n° 4, p. 731-741.

Bonn, F. et Escadafal, R. (1996) La télédétection appliquée aux sols. Chap. 3, p. 91-136, *in* Bonn, F. (réd.) Précis de télédétection ; vol. 2 : Applications thématiques. Presses de l'Université du Québec et AUPELF, Sainte-Foy, 633 p.

Huhn, O.K., Shafik, M. and Bavia, M. (1997) Geographic Information Systems and the distribution of Schistosoma mansoni in the Nile delta. Parasitology Today, vol. 13, n° 3, p. 112-118.

Keith, C., Clarke, P., Sara, L., Mc Lafferty, D. and Barbara, J.T. (1996) On Epidemiology and Geographic Information Systems : a Review and Discussion of Future Directions. Emerging Infection Diseases, vol. 2, n° 2, p. 85-92.

Mott, K.E., Nuttall, I. and Cattland, P. (1995) New Geographical approaches to control of some parasitic zoonoses. Bulletin of the World Health Organization, vol. 2, n° 73, p. 247-257.

Nutall, I., O'Neill, K. et Meert, J.P. (1998) Systèmes d'Information géographique et lutte contre les maladies tropicales. Médecine tropicale, vol. 3, n° 58, p. 221-227.

Rabarijaona, L.P. (1998) Validation de l'emploi des méthodes de Lot Quality Assurance Sampling(LQAS) pour l'identification des communautés cibles du Programme National de Lutte contre les bilharzioses à Madagascar. Mémoire de DEA, Unité de formation et de recherche en santé publique, Université de Bordeaux II, 120 p.

Rakotonirina, M. et Solonavalona, J. (2001) Suivi et évaluation des niveaux d'endémie. Bulletin semestriel de la Direction de la Lutte contre les Maladies Transmissibles, vol. 4, n° 24, p. 26-28.