Télédétection, 2003 vol. 3, n° 2-3-4, p. 177–185
Droit de photocopie soumis à l'autorisation

© 2003 CONTEMPORARY PUBLISHING INTERNATIONAL
Publié sous l'enseigne *Éditions scientifiques GB*
Imprimé en France

APPORTS DE LA TÉLÉDÉTECTION DANS L'ÉTUDE DES SCHISTOSOMES DANS LE NORD CAMEROUN : CAS DE L'AVAL DU BARRAGE DE LAGDO

PATRICK CUNIN[1], JEAN-PAUL RUDANT*[2], BERNARD POSTE[1], KAOU DJIBRILLA[3] et M.V PAUL MARTIN[1].

[1] *Centre Pasteur du Cameroun*
Boîte Postale 1274, Yaoundé, Cameroun.
Téléphone : (237) 223 10 15 ; télécopieur : (237) 223 15 64

[2] *Laboratoire des Géomatériaux*
Institut Francilien des Géosciences, Université de Marne-la-Vallée
5, boulevard Descartes
77 454 Marne-la-Vallée, cedex 2, France.
Téléphone : (0) 1 49 32 90 72 ; télécopieur : (0) 1 49 32 91 37

[3] *Délégation provinciale de la Santé du Nord*
Boîte Postale 121 Garoua
Cameroun
Téléphone : (237) 227 31 13

Courriel [(1,2)] : cunin@pasteur.cm ; rudant@univ-mlv.fr

(accepté le 17 juillet 2002)

Les schistosomoses (anciennement appelées bilharzioses) sont la deuxième maladie parasitaire la plus fréquente dans le monde après le paludisme. Le nombre de personnes atteintes au Cameroun est estimé à 1,8 million sur 15 millions d'habitants. Le Nord Cameroun est touché par deux espèces, *Schistosoma haematobium*, responsable de la bilharziose urinaire, et *Schistosoma mansoni*, responsable de la bilharziose intestinale. La présence de *S. haematobium* est anciennement connue, tandis que le développement de S. mansoni a fait suite à l'irrigation pour la riziculture à partir de 1986. Les images HRV (XS) de SPOT nous ont permis une représentation de la répartition des schistosomoses qui était impossible avec les cartes géographiques. Elles ont montré la dispersion des foyers de *S. haematobium*, le regroupement des foyers de *S. mansoni* autour du canal principal d'irrigation, et la dispersion d'une interaction entre schistosomes à partir du lac de Douloumi. L'étude de l'évolution des images satellitaires de 1986 à 2001 nous a permis de reconstituer l'évolution de l'environnement qui, mis en parallèle avec celle des schistosomoses, a apporté des éléments de réponse à des questions qui restaient posées à l'issue des enquêtes épidémiologiques sur le terrain.

Mots-clefs : santé ; schistosomoses ; irrigation ; télédétection ; SPOT.

CONTRIBUTION OF REMOTE SENSING IN THE STUDY OF SCHISTOSOMIASIS IN THE NORTH CAMEROON : CASE OF THE DOWNSTREAM OF THE LAGDO DAM

Schistosomiasis are the second parasitic diseases most frequent in the world after malaria. The number of infected people in Cameroon is about 1,8 million on 15 millions of inhabitants. The North Cameroon is touched by two species, *Schistosoma haematobium*, responsible of the urinary form, and *Schistosoma mansoni*, responsible of the intestinal form. The presence of *S. haematobium* is known formerly, while the development of *S. mansoni* followed the irrigated farming for paddy fields from 1986. Satellite multispectrals imaging SPOT permitted a representation of the geographical distribution of schistosomiasis that was impossible with the geographical maps. They showed the scattering of *S. haematobium* foci, the regrouping of *S. mansoni* foci around the main channel of irrigation, and the dispersal of an interaction between schistosomes from the lake of Douloumi. The study of the evolution of the satellite imaging from 1986 to 2001 permitted to reconstitute the evolution of the environment, that, put in parallel with the one of schistosomiasis, brought elements of answer to questions that remained queried after epidemiological investigation on the fields.

Keywords : health ; schistosomiasis ; irrigated farming ; remote sensing ; SPOT.

* Correspondant principal

1. INTRODUCTION

Les schistosomoses, anciennement appelées bilharzioses, sont la deuxième maladie parasitaire la plus fréquente dans le monde après le paludisme et touchent 300 millions de personnes. Au Cameroun, sur 15 millions d'habitants, le nombre de personnes atteintes a été récemment estimé à 1,8 million (Brooker *et al.*, 2000). Sur les cinq espèces de schistosomoses pathogènes pour l'être humain, trois sont présentes au Cameroun, dont deux dans la région du Nord : *Schistosoma haematobium,* responsable de la bilharziose urinaire, et *Schistosoma mansoni,* responsable de la bilharziose intestinale, plus grave en raison de ses complications hépatiques. La transmission du parasite se fait selon un cycle. Le malade élimine, dans les urines ou dans les selles selon l'espèce dont il est atteint, des œufs qui contaminent l'eau : les hôtes intermédiaires sont des mollusques aquatiques vivant sur la végétation des eaux douces stagnantes ou faiblement courantes. Les mollusques diffèrent selon l'espèce de schistosome, ceux qui transmettent S. *mansoni* étant plus sensibles à la dessiccation : l'irrigation est par conséquent plus favorable au développement de la bilharziose intestinale. Les mollusques infectés émettent des furcocercaires, longs de 500 µm, qui contaminent l'humain en traversant sa peau lors des contacts avec l'eau, à l'occasion d'une baignade ou de jeux pour les enfants, de la pêche, la toilette, la vaisselle ou la lessive pour les adultes.

Le Nord Cameroun est anciennement connu pour être touché plus fortement par *S. haematobium* que par *S. mansoni.* Lors d'une enquête nationale Ratard (1987, 1990) rapporta une prévalence de 32 % pour *S. haematobium* et de 16 % pour *S. mansoni* dans le département de la Bénoué, précisant d'autre part que les régions les plus touchées du Nord Cameroun étaient les lieux de recrutement des migrants rencontrés à Lagdo. Le lac de Lagdo a été créé en 1982 par un barrage hydro-électrique sur la rivière Bénoué : Robert (1997) rapporta dans la population riveraine du lac des taux de 26 % pour *S. haematobium* et 14 % pour *S. mansoni.* La conjonction de la présence antérieure des schistosomoses, de modifications écologiques propices et de l'arrivée de migrants venant de zones endémiques, était très favorable au développement des schistosomoses (Mengue, 1995). De plus le lac de Lagdo a permis le développement de l'irrigation pour la riziculture dans la rive est de la Bénoué à partir de 1986. Cette irrigation a été suivie du développement de *S. mansoni* qui, après une interaction avec *S. haematobium*, a émergé sous forme épidémique dans le village de Bessoum en 1997, les taux de prévalence étant dans ce village de 77 % pour *S. haematobium* et 61 % pour *S. mansoni* (Cunin *et al.*, 2000). Depuis 1998 le Centre Pasteur du Cameroun a développé un programme de lutte contre les schistosomoses dans cette région.

Les données satellitaires sont de plus en plus utilisées dans le domaine de la santé : la télédétection précisément est actuellement en plein développement au sujet des maladies à vecteurs, paludisme, trypanosomiase, filarioses, dracunculose, *etc.* (Beck *et al.*, 2000). En ce qui concerne les schistosomoses, les travaux utilisant des données satellitaires sont encore relativement peu nombreux : ils ont permis l'étude de la corrélation entre la prévalence des schistosomoses et les températures (Malone *et al.*, 1994), et entre la prévalence et la distance à des sites géographiques (Lwambo *et al.*, 1999), ou la construction de modèles utilisant les températures de surface et l'index normalisé de végétation pour prédire la distribution de la schistosomose urinaire (Brooker *et al.*, 2001), de la schistosomose intestinale (Bavia *et al.*, 2001), ou celle de mollusques hôtes intermédiaires de schistosomes (Kristensen *et al.*, 2001). Les images satellitaires proprement dites ont été plus rarement utilisées : Jeanne (2000) a utilisé des images TM de Landsat et HRV(P) de SPOT pour montrer que les facteurs de risque liés à la prévalence de la schistosomose intestinale dans les hautes terres centrales de Madagascar étaient la proximité d'une route principale et d'une piste de zébus, l'appartenance au bassin versant et la présence de villages hyperendémiques en amont.

Dans la région du Nord Cameroun, où la saison des pluies est courte avec 800 mm entre mai et octobre, nous avons pensé que l'irrigation serait visible sur les images satellitaires sous forme de végétation persistante en saison sèche, que nous pourrions mettre en relation avec les foyers de schistosomoses. Nous présentons ici les résultats obtenus avec les images satellitaires que nous avons acquises, offrant une meilleure compréhension des phénomènes épidémiologiques observés depuis 15 ans dans la région.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Dans le cadre du programme d'Incitation à l'utilisation scientifique des images SPOT (ISIS), nous avons acquis, grâce au soutien du Centre National d'Études Spatiales (CNES), la totalité des images de la zone figurant dans le catalogue d'archives de SPOT, soit une image pan-chromatique (P) du 12-01-1992 et les images multibandes (XS) des 24-11-1986, 15-01-1987, 02-01-1991, 25-12-1995, 06-12-1998 et 27-02-1999 ; nous avons également pu bénéficier d'une

programmation (image XS du 18-04-2001), soit un total de huit images.

Du point de vue épidémiologique, nous disposions des résultats des enquêtes de prévalence des schistosomoses que nous avions réalisées entre janvier 1999 et janvier 2001 dans la zone (Cunin *et al.*, 2001). Les 11 villages enquêtés étaient situés entre le lac de Lagdo au sud et celui de Douloumi au nord (figure 1). Nous disposions également des résultats des enquêtes antérieures dans la région (Ratard *et al.*, 1990 ; Slootweg, 1994 ; Same Ekobo, 1997) : ils nous ont permis de retracer l'évolution des schistosomes dans la région, à savoir une augmentation globale de *S. haematobium*, et une explosion de *S. mansoni* dans les villages ayant bénéficié de l'irrigation.

Des traitements classiques ont été opérés grâce au logiciel ENVI au Centre Pasteur du Cameroun à Yaoundé (Cameroun) et à l'École Nationale Supérieure de Géographie (ENSG) à Marne-la-Vallée (France). Après géoréférencement, nous avons représenté les indicateurs épidémiologiques des schistosomoses sur les fonds d'images trichromes (bandes XS1 en bleu, XS2 en vert et XS3 en rouge). L'analyse des documents ainsi obtenus, s'étalant dans le temps entre novembre 1986 et avril 2001, nous a permis de comprendre la relation entre ces indicateurs épidémiologiques et les lieux potentiels de transmission des schistosomoses, ce qui était impossible avec les cartes disponibles où ne figurait aucun des éléments qui se sont avérés pertinents dans la description de l'écosystème (canaux, rizières, petites rivières). Nous insistons ici sur le fait que même une carte topographique récente n'aurait pas permis d'appréhender la dynamique des évolutions comme nous a permis de le faire la séquence d'images HRV de SPOT disponibles, chaque image offrant en outre des possibilités de différenciation dans l'état d'occupation des sols (labourage, cultures, état des rizières, canaux en eau ou non, *etc.*).

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

La répartition des schistosomoses montre : *1)* la dispersion des foyers de S. *haematobium* sur l'ensemble de la zone (figure 2A) ; *2)* le regroupement, au contraire, des foyers de *S. mansoni* autour du canal principal d'irrigation (figure 2B) et *3)* la dispersion de l'interaction entre espèces à partir du lac de Douloumi (figure 2C). Les deux premiers points viennent renforcer nos hypothèses antérieures : la diversité des sites de transmission de *S. haematobium* due à sa présence ancienne dans la zone et la relation entre le canal principal d'irrigation et *S. mansoni* (Cunin *et al.*, 2000). L'enquête épidémiologique avait montré que la transmission de S. *mansoni* à Bessoum, village situé à proximité du canal d'irrigation remontait à 1993, soit un an après la construction de ce canal. Par contre, le troisième point est à mettre entièrement à l'actif des images satellitaires : elles nous ont permis de faire l'hypothèse que l'interaction entre schistosomes, décrite pour la première fois dans le Nord Cameroun en 1987 dans le village de Douloumi, situé au bord du lac de Douloumi (Ratard et *al.*, 1991), s'est étendue au reste de la zone peut-être par la dispersion depuis ce foyer d'une souche de *S. haematobium* particulièrement compétitive. Des études de la variation génétique des souches de schistosomes dans la région sont prévues pour nous aider à confirmer cette hypothèse d'autant plus intéressante que la variation de compétition des souches de schistosomes peut être couplée à une variation de sensibilité aux médicaments anti-parasitaires (Pica-Mattoccia *et al*, 2000) : le choix des villages où seront prélevées les souches dont nous étudierions la variabilité par des méthodes génétiques sera effectué en fonction des indications fournies par les images satellitaires.

À l'issue de l'enquête épidémiologique, deux questions restaient posées. La première est pourquoi à Gounougou, premier village irrigué dès 1986, le taux de prévalence de *S. mansoni* est-il resté bas (23 %) ? Sur l'image HRV de 1987, on voit le village qui s'étend le long de la piste et le canal d'irrigation (figure 3A). Sur les images suivantes, les rizières se sont développées entre le village et le canal (figures 3B, 3C et 3D). Le canal, lieu de transmission de *S. mansoni,* est peu fréquenté par les villageois car ils doivent traverser les rizières sur près de 1 km pour l'atteindre. Le village d'Ouro Doukoudjé, où le canal est apparu en 1992 (figure 3B) est dans la situation exactement inverse : les rizières, apparues en 1995 (figure 3C) sont éloignées, situées au nord-ouest (figure 1), alors que le canal d'irrigation traverse le village et est par conséquent très fréquenté. Le taux de prévalence de *S. mansoni* dans ce village est de 63 % alors qu'il a été irrigué plusieurs années après Gounougou.

On remarquera notamment que l'on voit bien sûr les images de 1995 et 1999 (figures 3C et 3D) que le canal qui monte vers le nord est en eau, alors que son extension vers l'ouest ne l'est pas : cette partie du canal, construite dès 1987, n'a jamais été utilisée. L'image HRV, d'une résolution théorique de 20 m, permet de distinguer, lorsque les conditions sont bonnes, des détails de taille nettement inférieure, ici environ 5 m.

La deuxième question est pourquoi la schistosomose urinaire a-t-elle baissé à Bessoum entre 1995 et 1997 ? Cette diminution survint

après une période d'interaction entre les deux espèces de schistosomoses, pendant laquelle *S. haematobium* influait sur la morbidité liée à *S. mansoni* en la faisant diminuer, et fut sans doute à l'origine de l'émergence épidémique de *S. mansoni* en 1997 (Cunin et *al.,* 2000). Sur l'image de 1987 (figure 4A), époque à laquelle nous savons que seul *S. haematobium* était présent dans la région, le mayo Tchikali, rivière située au nord de Bessoum, peut être facilement localisée par l'intermédiaire de la végétation dont elle permet le développement : en l'absence d'autres images correspondant à un site potentiel de transmission, on peut supposer que c'est là que se transmettait *S. haematobium*. Sur l'image de 1992 (figure 4B), on voit apparaître le canal d'irrigation, mais il n'y a pas encore de rizières. Nous savons que c'est vers 1993, après le canal d'irrigation, mais avant les rizières, qu'a débuté la transmission de *S. mansoni*. Les rizières apparaissent sur l'image de 1995 (figure 4C), où l'on voit que les canaux secondaires qui amènent l'eau dans les rizières se jettent à l'ouest dans le mayo Tchikali dont le trajet apparaît modifié, plus fin, long et sinueux. L'aspect est encore plus marqué sur l'image de 2001 (figure 4D). On peut alors supposer que le débit a augmenté en raison de cet apport d'eau supplémentaire, devenant ainsi défavorable aux mollusques pour lesquels les eaux stagnantes ou à faible débit sont plus adaptées. Depuis mai 2000, des recherches de mollusques sont effectuées régulièrement dans le mayo Tchikali et aucun mollusque n'a pu être trouvé dans cette rivière. Par contre, de nombreux mollusques hôtes intermédiaires des deux schistosomoses sont trouvés régulièrement dans les canaux secondaires entre les rizières, dont le débit moins rapide est favorable à leur développement : après leur disparition du mayo, les mollusques hôtes intermédiaires de *S. haematobium* ont du coloniser ces canaux et la transmission de cette schistosomose a pu alors reprendre. Nous savons que cette transmission a repris vers 1998 puisque depuis cette année l'incidence de *S. haematobium* a augmenté à nouveau (Cunin *et al*., 2000).

4. CONCLUSION

Les images HRV de SPOT ont été d'un apport déterminant dans notre étude sur les schistosomoses dans le Nord Cameroun. Elles nous ont permis de mieux comprendre les relations entre le développement de l'irrigation et l'extension des schistosomoses, ainsi que les circonstances de l'émergence épidémique de la forme intestinale dans le village de Bessoum. Des cartes topographiques récentes n'auraient pas pu être aussi utiles, étant donnée la capacité des séquences d'images HRV à rendre compte de manière très lisible des évolutions du paysage. L'analyse des images de télédétection a été à l'origine de nouvelles hypothèses, comme l'extension de l'interaction entre espèces peut-être liée à la diffusion d'une souche particulière de schistosome. Un nouveau projet de recherche devrait être initié pour vérifier cette hypothèse, destiné à étudier la variabilité génétique des souches de schistosome choisies en fonction des informations fournies par les images satellitaires. Sur notre site d'étude de l'aval du barrage de Lagdo au Nord Cameroun, la télédétection peut être considérée comme un outil majeur dans l'étude épidémiologique des schistosomoses.

Autre perspective de développement dans le domaine du traitement numérique, l'automatisation de certaines approches, comme la détection de changements (par exemple, zones d'irrigation nouvelles, d'implantations humaines récentes, *etc.*) devraient s'avérer d'une grande aide pour les études futures de même nature.

Remerciements

Nous remercions pour leur aide le Centre National d'Études Spatiales (CNES) à Toulouse en France, qui nous a permis l'achat d'images HRV de SPOT à tarif réduit dans le cadre du programme ISIS, et le Service de Coopération et d'Action Culturelle de l'Ambassade de France à Yaoundé au Cameroun. Nos remerciements vont également à M. Jacob Kouamé de l'École Nationale Supérieure de Géographie de Marne-la-Vallée pour son travail pour la construction du système d'information géographique.

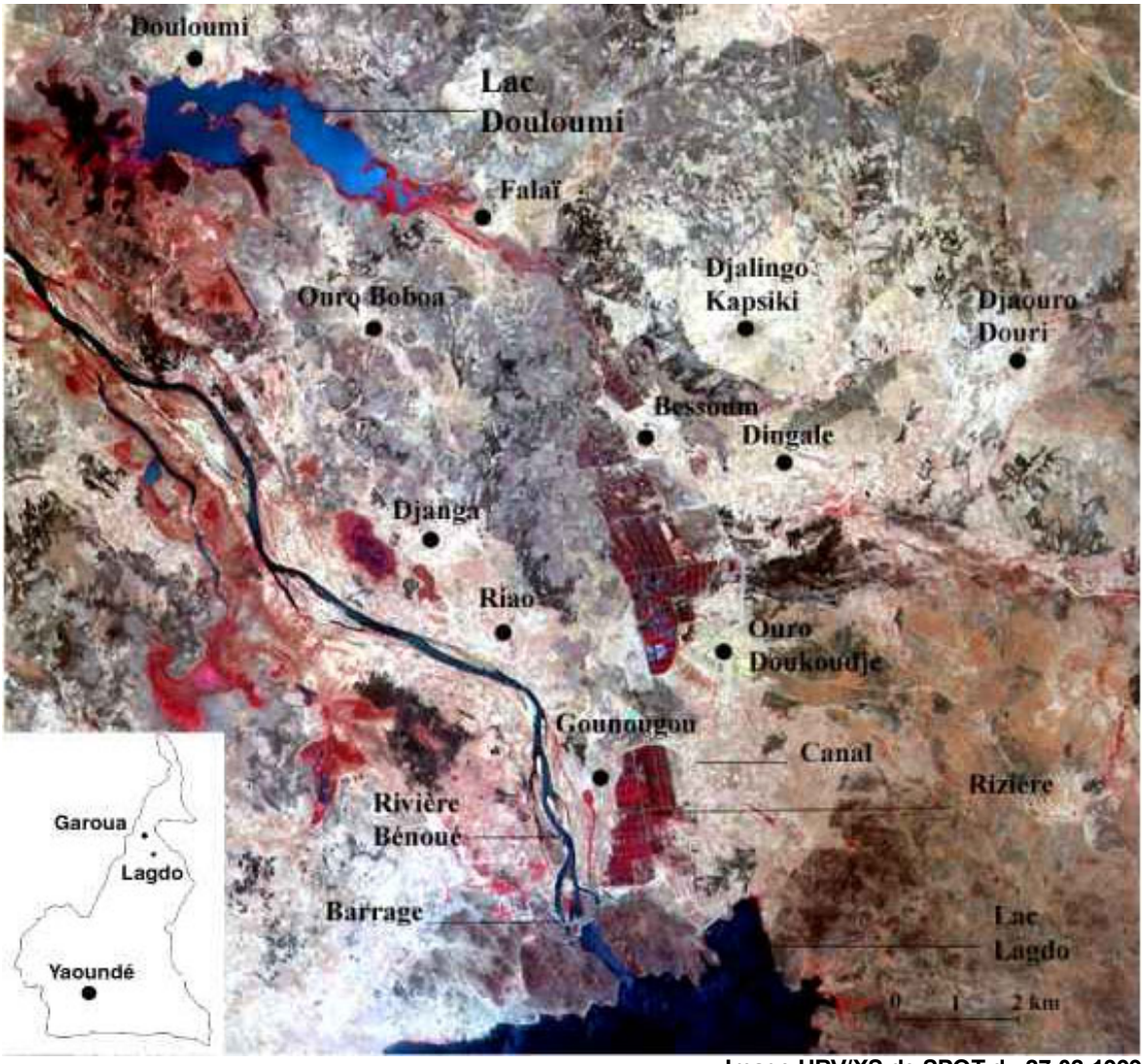
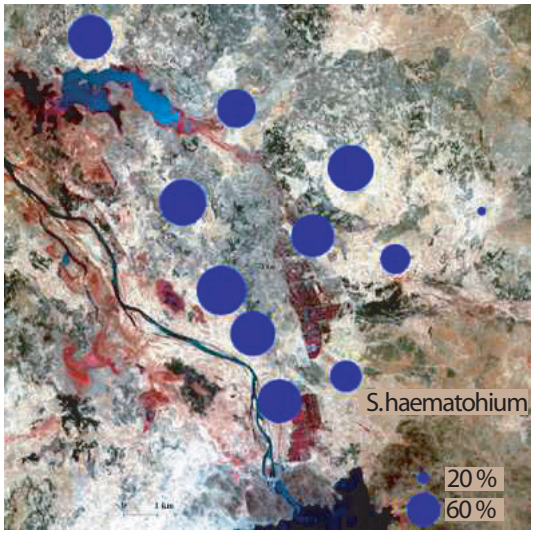
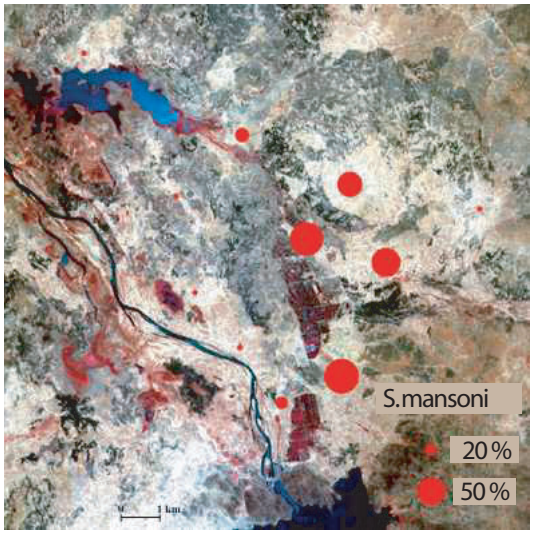


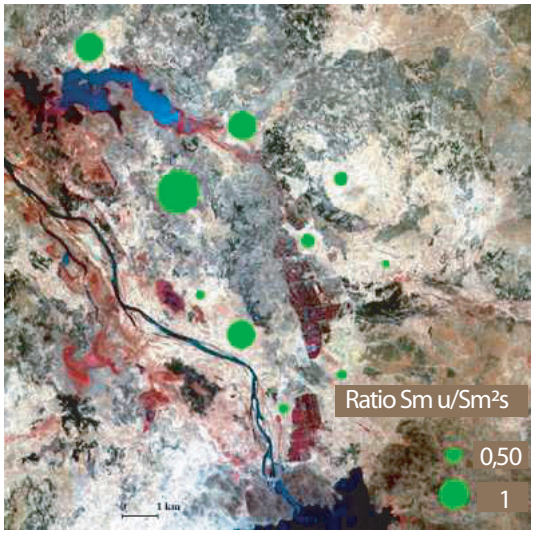
FIGURE 1 Localisation de la zone d'étude. *Location of the studied area.*



A) Taux de prévalence de S. haematobium



B) Taux de prévalence de S. mansoni



C) Compétition entre schistosomoses

FIGURE 2 Répartition des schistosomes dans le bassin de Bénoué (Nord Cameroun). *Distribution of the schistosomiasis in the basin of Bénoué (Northern Cameroon).*

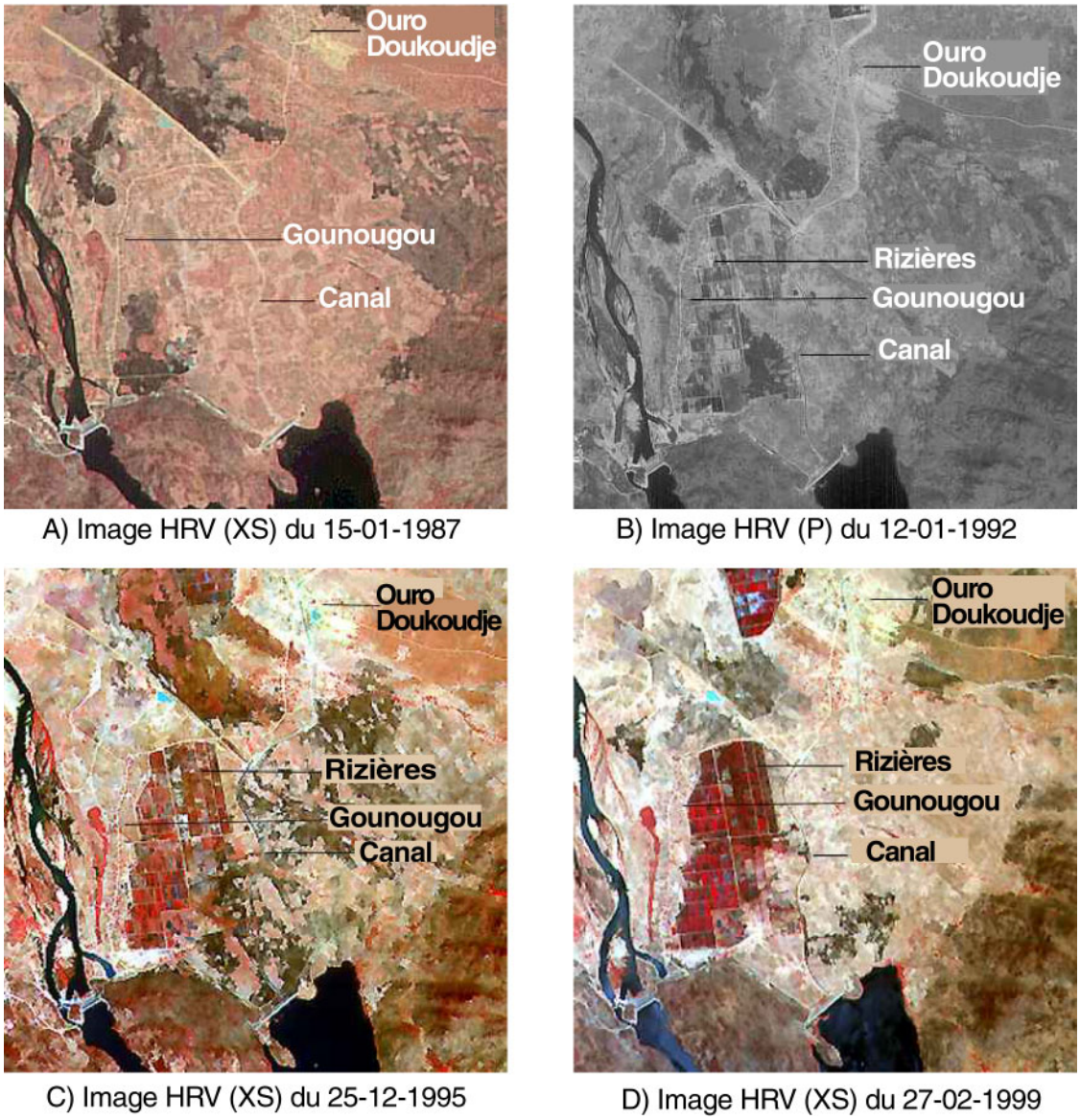
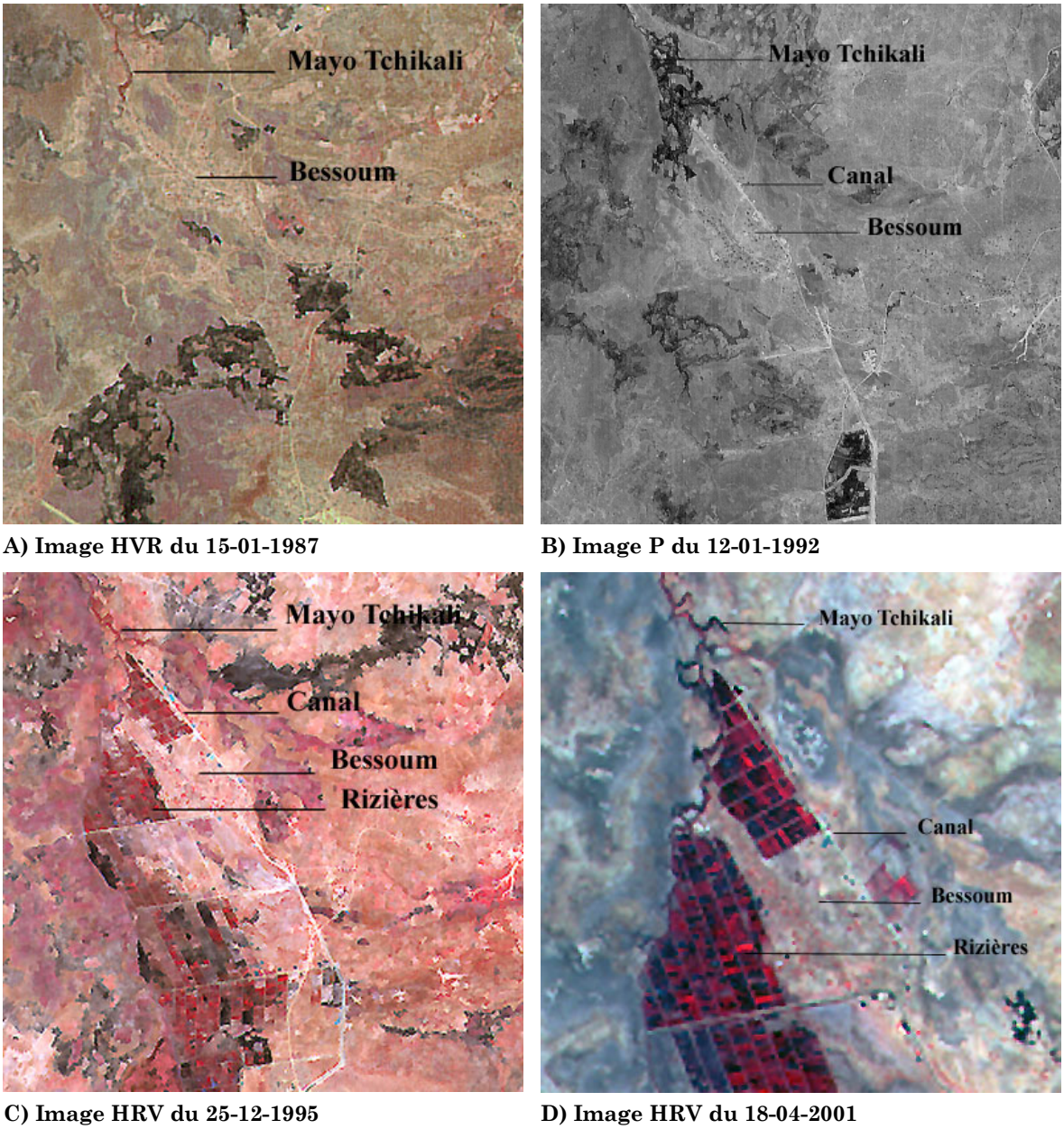


FIGURE 3 Développement de l'irrigation à Gounougou (Nord Cameroun). *Development of the irrigation in Gounougou (Northern Cameroon).*



A) Image HVR du 15-01-1987

B) Image P du 12-01-1992

C) Image HRV du 25-12-1995

D) Image HRV du 18-04-2001

FIGURE 4 Développement de l'irrigation à Bessoum (Nord Cameroun). *Development of irrigation in Bessoum (Northern Cameroon).*

Références

Bavia, M.E., Malone, J.B., Hale, L., Dantas, A., Marroni, L. and Reis, R. (2001) Use of thermal and vegetation index data from earth observing satellites to evaluate the risk of schistosomiasis in Bahia, Brazil. Acta Tropica, vol. 79, n° 1, p. 79-85.

Beck, L.R., Lobitz, B.M. and Wood B.L. (2000) Remote sensing and human health : new sensors and new opportunities. Emerging Infectious Diseases, vol. 6, n° 3, p. 217-226.

Brooker, S., Donnely, C., A. and Guyatt, H. L. (2000) Estimating the number of helminthic infections in the republic of Cameroon from data on infection prevalence in schoolchildren. Bulletin of the World Health Organization, vol. 78, n° 12, p. 1456-1465.

Brooker, S., Hay, S., Issae, W., Hall, A., Kihamia, C., Lwambo, N., Wint, W., Rogers, D. and Bundy D. (2001) Predicting the distribution of urinary schistosomiasis in Tanzania using sensor data. Tropical Medicine and International Health, vol. 6, n° 12, p. 998-1007.

Cunin, P., Griffet, A., Poste, B., Djibrilla, K. and Martin, P.M.V. (2000) Epidemic *Schistosoma mansoni* in a known *S. haematobium* area. Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene, vol. 94, p. 657-660.

Cunin, P., Poste, B., Djibrilla, K. et Martin P.M.V. (2001) Les schistosomoses dans le bassin de la Bénoué (Nord Cameroun). Bulletin de liaison et de documentation de l'OCEAC, vol. 34, n° 2, p. 15-18.

Jeanne, I. (2000) Paludisme et schistosomose : deux exemples d'utilisation des systèmes d'information géographique et de la télédétection à Madagascar. Bulletin de la Société de Pathologie Exotique, vol. 93, p. 208-214.

Kristensen, T.K., Malone, J.B. and McCarroll, J.C. (2001) Use of satellite remote sensing and geographic information systems to model the distribution and abundance of snail intermediate hosts in Africa : a preliminary model for *Biomphalaria pfeiffeiri* in Ethiopia. Acta Tropica, vol. 72, p. 73-78.

Lwambo, N.J.S., Siza, J., Brooker, S., Bundy, D.A.P. and Guyatt, H. (1999) Patterns of concurrent hookworm infection and schistosomiasis in schoolchildren in Tanzania. Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene, vol. 93, p. 497-502.

Malone, J.B., Huh, O.K., Fehler, D.P., Wilson, P.A., Wilensky, D.E. and Holmes, R.A. (1994) Temperature data from satellite imagery and the distribution of schistosomiasis in Egypt. American Journal of Tropical Medicine and Hygiene, vol. 50, p. 714-722.

Mengue, A. (1995) Projet et réalisation d'un aménagement dans une région soudano-sahélienne. Le cas de Lagdo (Nord-Cameroun). Thèse de doctorat, Université Paris IV, Paris, 343 p.

Pica-Mattoccia, L., Moroni, R., Tchuem Tchuente, L.A., Southgate, V.R. and Cioli, D. (2000) Changes of mate occur in *Schistosoma mansoni*. Parasitology, vol. 120, p. 495-500.

Ratard, R.C. (1982) The African Schistosoma. Document USAID, Yaouneé, 10 p.

Ratard, R.C., Kouemini, L.E., Bessala, M. E., Ndamkou, C.N., Greer, G.J., Spilsbury, J. and Cline, B.L. (1990). Human Schistosomiasis in Cameroon. I Distribution of Schistosomiasis. American Journal of Tropical Medicine and Hygiene, vol. 6, p. 561-572.

Ratard, R.C., Ndamkou, C.N., Kouemini, L.E. and Bessala, M.M. (1991) *Schistosoma mansoni* eggs in urine. Journal of Tropical Medicine and Hygiene, vol. 94, p. 348-351.

Robert, C.F. (1997) Les Schistosomiases dans les populations riveraines du lac de Lagdo au Cameroun : importance pour la santé publique. Thèse de doctorat, Université de Genève, Suisse, 71 p.

Same Ekobo, A. (1997) Santé, climat et environnement au Cameroun. Éditions Jutey-Sciences, Yaoundé, 151 p.

Slootweg, R. (1994) A multidisciplinary approach to Schistosomiasis control in Northern Cameroon. Thèse de doctorat, Université de Leiden, Hollande, p. 87-97.