

# SPATIAL EXPRESSIONS OF SLEEPING SICKNESS IN IVORY COAST AND GUINEA CONAKRY REMOTE SENSING AND SPATIAL ANALYSIS CONTRIBUTIONS TO MAP HUMAN AFRICAN TRYPANOSOMIASIS RISK AREA

Dominique Laffly\*

Pascal Handschumacher\*\*

*Fecha de Recepción: Octubre 2004*

*Fecha de Aceptación: Marzo 2005*

\* SET Société Environnement Territoire UMR 5 603 CNRS

*dominique.laffly@univ-pau.fr*

\*\* EPIPREV Épidémiologie et Prévention UR 024 IRD

*handschumacher@equinoxe.u-strabg.fr*

## ABSTRACT

At the end of 19th century in western Africa sleeping sickness - Human African Trypanosomiasis - was responsible for a lot of death in an entire state of complete Disorganisation caused by foreign political intervention. A very large movement of important population modified historical natural equilibrium and humans were in active contact with the disease's vector, the Tse-Tse fly. After independence, in relation with few decades of systematic and efficient sanitary struggle sleeping sickness disappeared. Currently we are in a new context; the disease is reviscente. In 1996 a WHO report signalled that more than 25,000 new cases in inter-tropical Western Africa were reported. In reality it is believed that probably 300,000 new persons were affected. However, without efficient sanitary structure it is impossible to dispose of true data and to treat population most of which is ineluctably condemned. In that context - aggravated by the political instability - it is an emergency to promote new methods for large scale diagnoses to help sanitary decision rules. From few years ago, spatial resolution and geographical coverage of remote sensing give images of hearth adapted to a smoothness description of landscape on large surface. The method we propose, founded on image analysis and geostatistical analyses, consists on translating spatial expression of disease identified from field study on environmental risk factors deductible from space imagery. Results consist on probability risk map on large coverage. We hope it will help struggling against disease. Our approach was situated at the level of elementary digit of sickness and their interconnection. Two examples of sickness spatial expression are presented: one in Guinea Conakry and the other in Ivory Coast.

## Keywords:

Human African Trypanosomiasis, Remote Sensing, Geographical Information System, Geostatistical Analysis, Disease Risk Factors, Environmental Risk Factors, Probability Risk Map, Ivory Coast, Guinea Conakry.

## RESUMEN

Las políticas coloniales de fin de siglo XIX son responsables de graves epidemias de la enfermedad del sueño en África Occidental. Poblaciones enteras fueron puestas en contacto con la mosca Tse-Tse acabando así con un equilibrio "natural" histórico-. Tras la independencia, y tras décadas de lucha eficaz contra la enfermedad, la Tripanosomiasis Humana Africana (THA) desaparece. Según la OMS (1996), hoy nos encontramos ante un nuevo contexto en el que se encuentran al menos 300.000 nuevos casos de los que sólo son reportados 25.000. Ante la ausencia de infraestructuras sanitarias y la situación de inestabilidad política de Guinea Conakry y en Costa de Marfil, es imposible disponer de datos fiables. Más que nunca es necesario advertir sobre la diferencia existente entre ausencia de datos y ausencia de enfermedad. Resulta urgente la promoción de métodos de cartografía de riesgos a pequeña escala geográfica como herramientas para el apoyo a la toma de decisiones en materia de atención sanitaria. Tras varias décadas, los satélites civiles de observación terrestre proporcionan imágenes cuya cobertura geográfica y resolución se adaptan bien a esta problemática. A modo de ejemplo, presentamos un método basado en teledetección y análisis espacial para la cartografía de zonas de riesgo de la enfermedad del sueño. El principio adoptado consiste en la conversión de las expresiones espaciales de la enfermedad, identificadas sobre el terreno, en indicadores de paisaje obtenibles de las imágenes.

## Palabras clave:

Tripanosomiasis Humana Africana, Teledetección, Sistemas de Información Geográfica, Análisis geoestadístico, Factores de riesgo sanitario, Indicadores medioambientales del riesgo sanitario, Probabilidad de riesgos sanitarios, Costa de Marfil, Guinea Conakry.

## RÉSUMÉ

Par les bouleversements géographiques qu'elles entraînent, les politiques coloniales de la fin du 19ème siècle furent à l'origine d'importantes épidémies de maladie du sommeil en Afrique Occidentale. Des populations entières furent mises en relation avec la mouche Tsé-tsé, bousculant ainsi les équilibres " naturels " historiques. Après l'indépendance, la Trypanosomiase Humaine Africaine (THA) fut maîtrisée suite à plusieurs décennies de lutte sanitaire particulièrement efficace. Nous sommes actuellement dans un nouveau contexte, selon l'Organisation Mondiale de la Santé (en 1996) la maladie est reviviscente, plus de 300 000 individus seraient infectées dans la zone intertropicale africaine alors que seulement 25 000 nouveaux cas sont officiellement recensés ! Il est impossible de disposer d'informations précises en l'absence de

structures de veille sanitaire efficaces et la situation face à la THA est de ce fait particulièrement préoccupante - encore plus avec un contexte géopolitique instable comme c'est actuellement le cas en Côte d'Ivoire ou en Guinée Conakry. Plus que jamais il ne faut pas confondre absence de maladie avec absence d'informations sur la maladie. Il est urgent de promouvoir des méthodes de cartographie des risques à petite échelle géographique dans le but de servir de documents d'aide à la décision en matière de veille sanitaire. Depuis quelques années les satellites civils d'observation de la Terre fournissent des images dont la couverture géographique et les résolutions spatiales et thématiques sont adaptées à cette problématique. À titre d'exemple nous présentons une méthode fondée sur l'imagerie satellitaire et l'analyse spatiale pour cartographier les zones à fortes probabilités de risques de maladie du sommeil. Son principe consiste à traduire en indicateurs paysagers -déductibles des images et de l'agencement spatial- les expressions spatiales de la maladie identifiées sur le terrain par des enquêtes éco-socio-démo-épidémiologiques.

## Mots clés:

Trypanosomiase Humaine Africaine, Télédétection, Système d'Information Géographique, Analyse géostatistique, Facteurs de risque sanitaire, Indicateurs environnementaux du risque sanitaire, Probabilités de risques sanitaires, Côte d'Ivoire, Guinée Conakry.

---

## 1. INTRODUCTION

La Trypanosomiase Humaine Africaine (THA) - maladie du sommeil - est aujourd'hui reviviscente (Penchenier et al., 1996) dans plusieurs états africains de la zone intertropicale (figure 1). " Trente sept pays subafricains sont frappés par ce fléau, dont 32 des 42 pays les plus endettés du monde. [...] Sur une population de 260 millions de personnes vivant dans cette région, 60 millions risquent d'être infectées. Selon l'Organisation Mondiale de la Santé, dans certaines parties d'Afrique, telles dans la République démocratique du Congo ravagée par la guerre, de nouvelles flambées ont fait plus de victimes que les autres maladies transmissibles, y compris le VIH/sida. Sur les 60 millions de personnes menacées, seulement 3 millions font l'objet d'un dépistage systématique, " la plupart des personnes infectées - estimées à 80 % - meurent avant

même d'être diagnostiquées ", déclare l'OMS (chronique des Nations Unies, 2003).

C'est une erreur d'imaginer que la maladie du sommeil réapparaît uniquement là où elle avait déjà été observée par le passé (Hervouët & al., 2000). En Côte d'Ivoire et en Guinée Conakry, par exemple, les foyers les plus importants recensés au cours des quinze dernières années sont tous localisés dans des espaces géographiques épargnés jusque là. En conséquence, les programmes nationaux de lutte ne peuvent s'appuyer sur les anciennes localisations et - en l'absence de structure sanitaire efficace - une des priorités consistent à définir où intervenir en priorité.

Pour lutter efficacement contre la THA il est nécessaire de disposer de données permettant d'apprécier l'étendue et la localisation réelles des foyers actuels. Il est primordial de ne pas confondre absence de données sur la

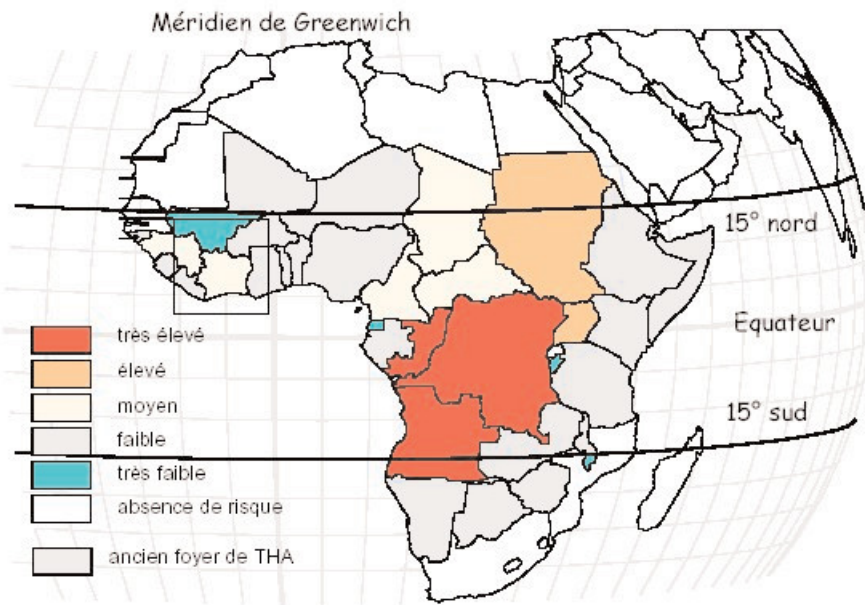


Figure 1.- Pays à risque de THA (sources : chroniques des Nations Unies, 2003)

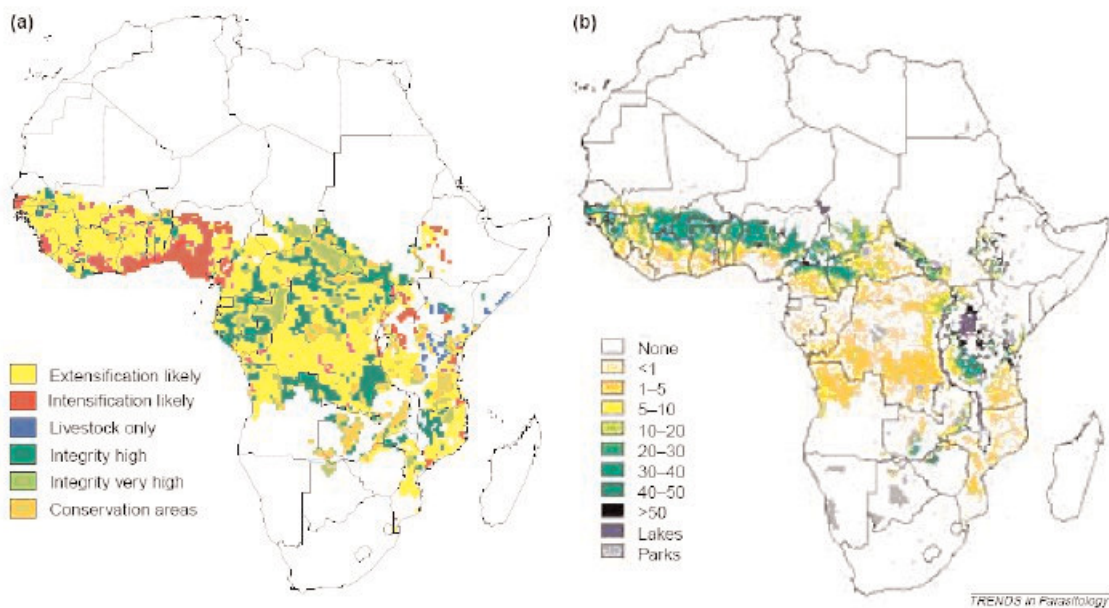


Figure 2.- Télédétection et observation des espaces à risques à l'échelle des continents (G. Hendricks, *ibid.*) a) Possible environmental implications of successful trypanosomosis control in Africa. b) Predicted increase in cattle density per km<sup>2</sup>

maladie avec absence de maladie. De fait, les cartes de distribution de THA issue des organismes nationaux reflètent plus la distribution géographique de la politique de lutte que celle des malades. Il est illusoire d'imaginer maîtriser le problème en utilisant uniquement ces sources d'information. Nous serions dans une situation désespérée si la maladie du sommeil était inéluctable à partir du moment où parasite, vecteur et population humaine étaient réunies dans un espace géographique donné dans lequel le " complexe pathogène " (Sorre, 1933) serait en état de s'exprimer. Picheral (1982) précise que le complexe pathogène repose sur la notion d'interdépendance et d'association parasitaire dans des circonstances spécifiques de transmission liées aux conditions du milieu naturel. Heureusement, la croissance du nombre de malades reflète plus une organisation inadéquate des paysages que les conséquences directes du complexe pathogène (Hervouët & Laveissière, 1987a). Il est permis de considérer que les foyers de THA sont caractérisés par des " signatures paysagères " elles-mêmes témoin de facteurs de risque autres qu'entomologiques et médicaux. L'analyse de ces facteurs de risques en relation avec l'espace géographique permet d'identifier des indicateurs environnementaux. De fait, les pratiques agricoles et sociales de l'espace traduisent indirectement différents niveaux de risque face à la maladie.

L'utilisation conjointe de la télédétection et de l'analyse spatiale permet de proposer des

éléments de réponse au besoin de cartographier sur de vastes superficies les zones probables de risque actuel de THA. Le plus grand nombre d'études menées en ce sens portent sur une approche à petite échelle sur l'ensemble des continents considérés (figure 3). Les indicateurs biogéographiques sont discernés selon leur aptitude à fournir des écotopes aux différents vecteurs (G. Hendrickx & al., 2001). La chaîne méthodologique que nous proposons permet de transformer des facteurs de risque en indicateurs environnementaux identifiables à partir des images satellites à très grande échelle géographique, celle de l'organisation locale des populations. Par conséquent nous intégrons en plus des indicateurs biogéographiques des faits sociaux et culturel de fréquentation de l'espace qui créés véritablement le complexe pathogène.

---

## 2. LOCALISATION GÉOGRAPHIQUE ET DONNÉES UTILISÉES

Deux aires d'études retiennent notre attention du fait des expressions spatiales différentes de la même maladie (figure 3). Les deux ont fait l'objet d'étude approfondir où la démarche fondée sur la traduction des facteurs de risques en indicateurs environnementaux a déjà été abordée<sup>1</sup>. En Côte d'Ivoire il s'agit d'une région (secteur de Bonon) dominée par les cultures commerciales (café, cacao, banane, riz...) sise à une centaine de kilomètres à l'ouest de Yamoussoukro. En

---

<sup>1</sup> Notamment sous la conduite des travaux de l'IRD ex-ORSTOM (J.-P. Hervouët et J.-P. Laveissière) en particulier) en collaboration avec des programmes locaux tels le projet mangrove de Dubreka en Guinée Conakry et l'Institut Pierre Richet à Bouaké (Côte d'Ivoire).



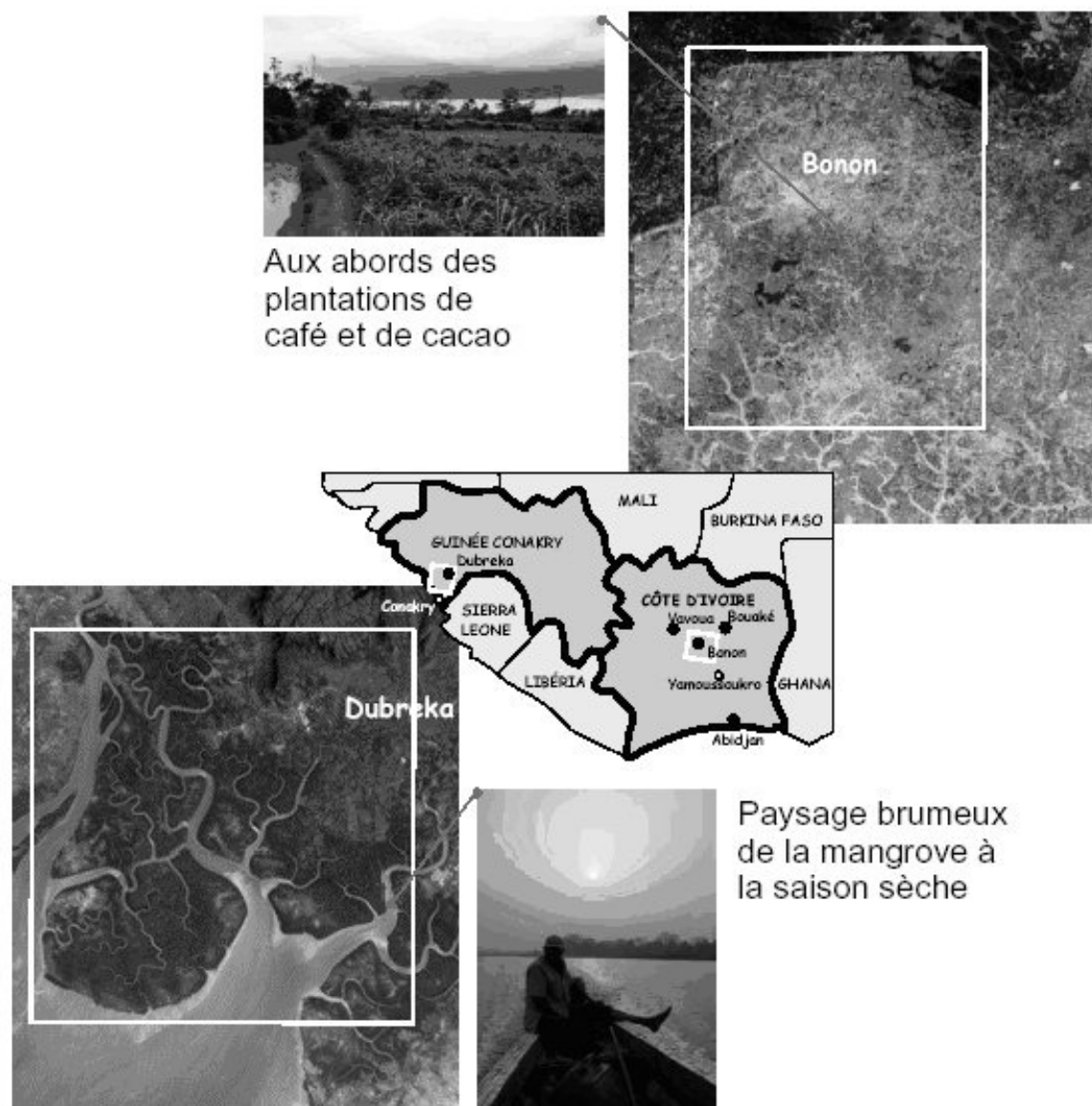


Figure 3.- Deux sites différents, deux complexes pathogènes à part entière

Guinée l'aire présentée (secteur de Dubreka) est constituée par la mangrove directement au nord ouest de Conakry, au pied du massif gréseux du Fouta Djallon où l'essentiel des activités est dédiée à la pêche, au bois et à l'exploitation du sel pendant la saison sèche et à la culture du riz pendant la saison des pluies.

La figure 4 présente un secteur de 24 kilomètres de côté centré sur la ville de Bonon. La

forêt du Parc National de la Marahoué le limite, en théorie, là l'ouest et au nord tandis que l'essentiel de l'espace géographique est organisé selon deux modes interférant : des secteurs centrés sur les villages cernés de cultures vivrières de bas-fonds alignés le long de la route goudronnée d'une part et, d'autre part, une mosaïque de hameaux et de campements disséminés, comme les points d'eau, au sein des plantations ou alternent, dans le café et le cacao, lambeaux forestiers,

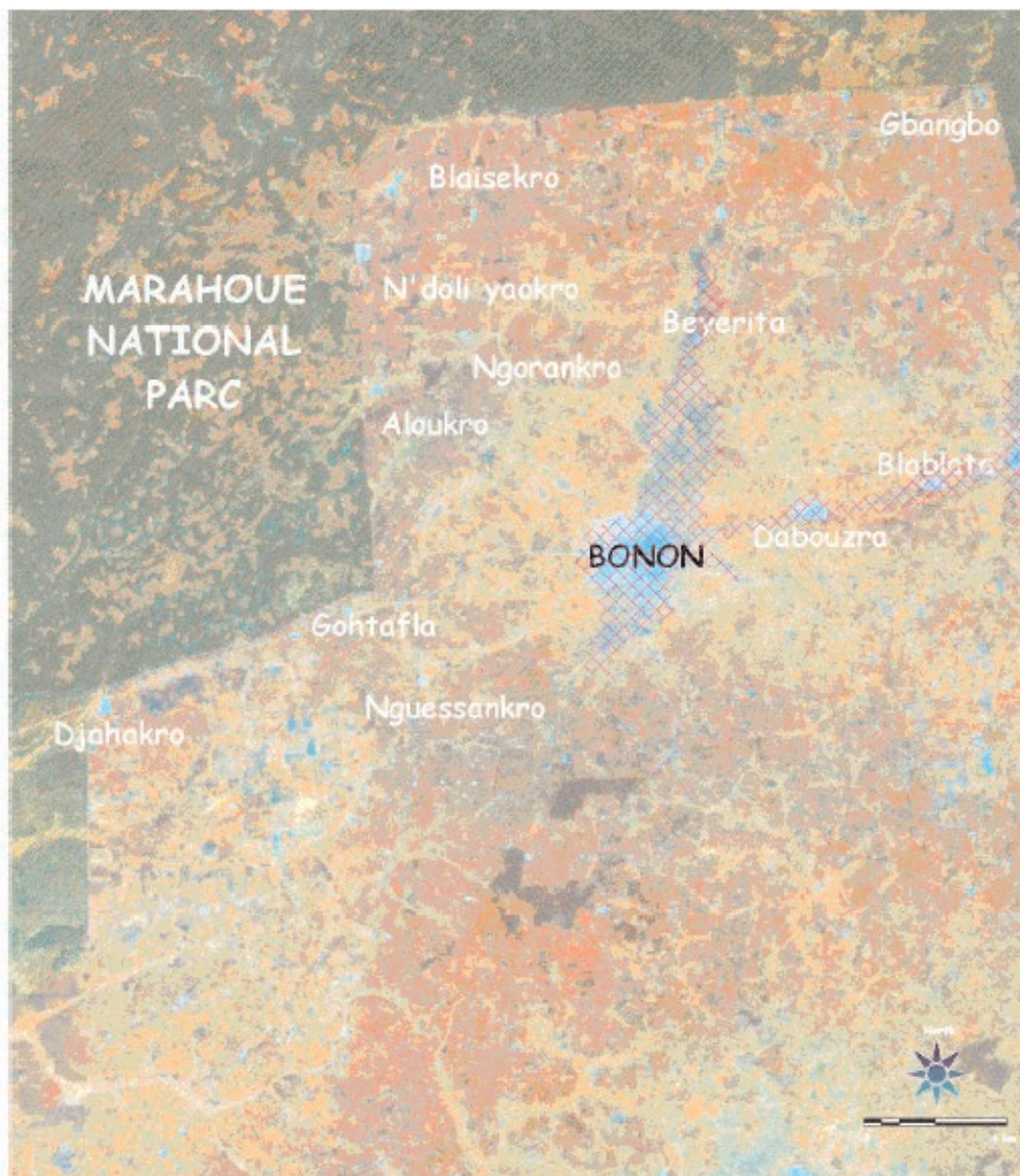


Figure 4.- Les plantations autour de Bonon (Côte d'Ivoire)

champs co-plantés de maïs et de riz pluvial et prairies. Ici, c'est le second type qui nous intéresse en priorité, même si la THA est émergente en milieu urbain et péri-urbain. Nous distinguons dans ces zones de culture, les espaces organisés selon un réseau de petits campements (moins de 15 habitants) au cœur des plantations - au risque le plus élevé - des espaces articulés autour de hameaux isolés

(plus de 30 habitants) - au risque moindre. La figure 5 détaille la mangrove et la zone de contact avec le massif du Fatou Djalon. Elle est sillonnée de très nombreux chenaux dont certains ne sont praticables qu'à marée haute. L'amplitude de la marée est ici exceptionnellement forte et empêche la formation d'un delta malgré l'importance des cours d'eau qui sillonnent le secteur.



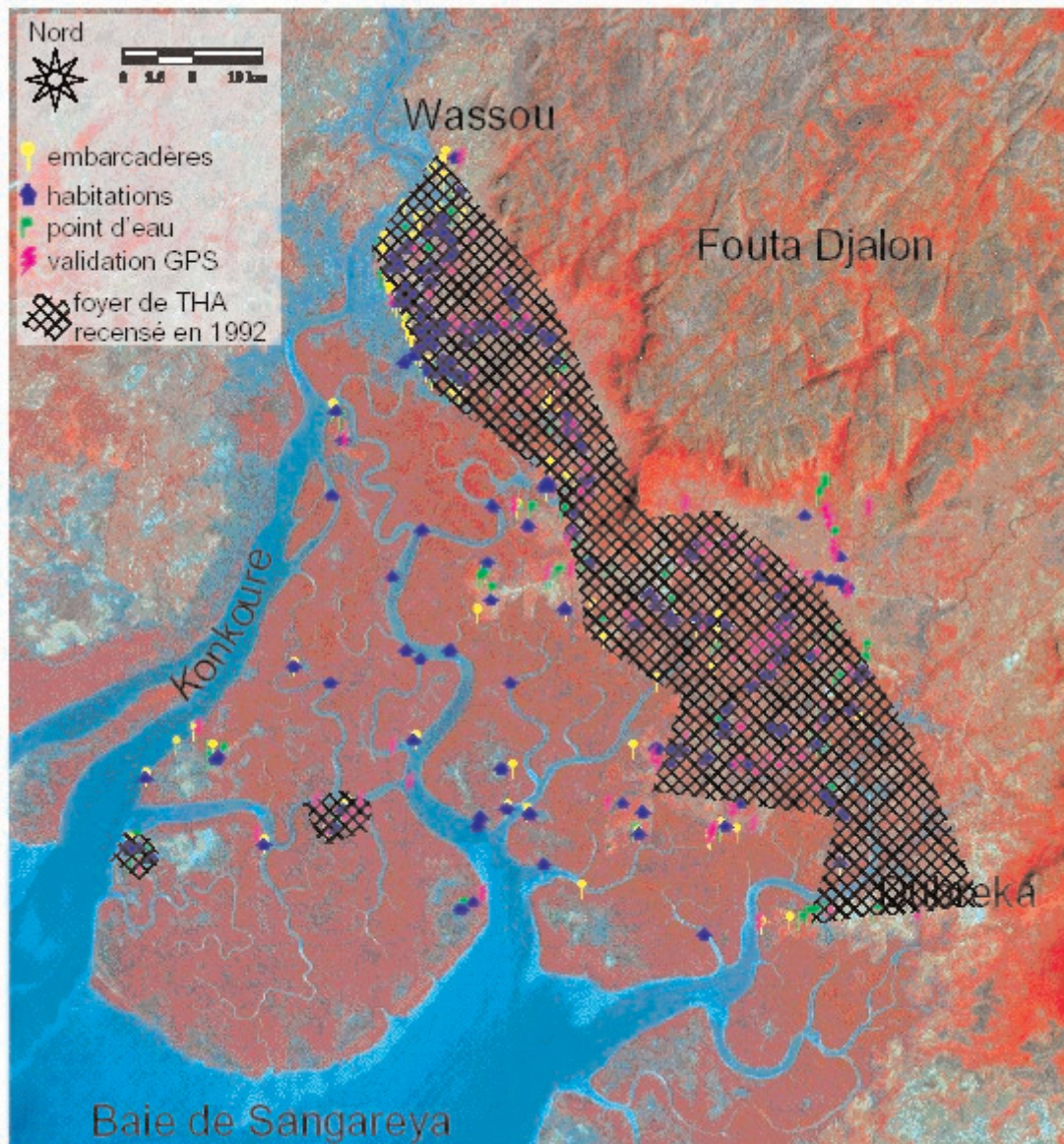


Figure 5.- La mangrove à Dubreka en Guinée Conakry

La zone qui nous intéresse précisément est limitée au nord par le mont Kakoulima, à l'ouest par le fleuve Konkoura, au sud par la baie de Sangareya et à l'est par la presqu'île de Conakry<sup>2</sup>.

Le climat est ici exceptionnellement humide, les précipitations sont supérieures à 4 500 mm par an à Conakry pour la saison des pluies s'é-

tendant de mai à fin novembre. Deux saisons rythment les cultures au gré des marées qui déterminent quant à elles le niveau de la mangrove vivante en fonction du taux de salinité des nappes phréatiques. À l'exception de quelques hameaux, les populations ne fréquentent pas de manière continue cette mangrove. Elles s'y trouvent plus ou moins régulièrement selon les activités de la

2 Typiquement les limites géographiques du projet mangrove de Dubreka cité plus haut (Ribereau, 1996).



saisons : pêche, bois et sel à la saison sèche ; culture du riz à la saison des pluies. Contrairement à l'exemple de Bonon, nous avons affaire ici à un complexe pathogène où glossines et réservoirs humains ne colonisent pas les mêmes milieux durablement.

Des images satellites SPOT (multibandes et panchromatiques) sont utilisées dans les deux cas pour cartographier les indicateurs environnementaux du risque de THA.

### 3. MÉTHODES

#### *Du facteur de risque à l'indicateur environnemental du risque*

Le parasite responsable de la THA est un protozoaire qui infecte une personne saine à partir d'une autre malade par l'intermédiaire de la mouche tsé-tsé (*Glossina palpalis* et *Glossina tachinoïdes* en Afrique de l'ouest, Carrier & al., 1980). Ce sont principalement les activités humaines qui créent les conditions de transmission (Laveissière & Kienon, 1979), leurs impacts sur l'organisation des paysages sont un facteur aggravant des contacts homme/vecteur et particulièrement avec *Glossina palpalis* (Hervouët & Laveissière, 1988). En Afrique occidentale cette mouche peut être infectée uniquement lors de son premier repas sanguin sur une personne malade, c'est fort heureusement un facteur

naturel de limitation de la maladie mais une mouche infectée le restera toute sa vie. Laveissière & al. (1997) proposent une formule de calcul du risque théorique (1). Celui-ci augmente en relation avec le taux de mouches ténérales dans la population. Cette proportion est évaluée à partir de la population de mouches fonction du nombre capturé (t) divisé par le nombre de pièges (p) durant (j) jours.

Théoriquement, puisque l'indice de risque est corrélé au taux de prévalence, il est possible de déterminer un taux de transmission pour différents biotopes. En pratique il n'est guère possible d'obtenir ces indications en dehors de petits secteurs expérimentaux, les coûts induits étant trop importants. Il est alors impossible de s'appuyer sur de telles mesures pour organiser une lutte antivectorielle efficace. Par conséquent, pouvoir cartographier les secteurs de risque potentiel de THA s'avère une urgence et une source d'informations primordiales. Aussi importantes soient-elles, les données entomologiques ne peuvent expliquer à elles seules les disparités géographiques de la diffusion de la maladie. De fait, il y a risque si et seulement si les activités humaines créent les conditions de contact avec la mouche, la transmission de la THA n'est pas strictement liée à l'abondance des tsé-tsé [...] de petites populations de glossines entretenant des relations intimes, fréquentes et

$$(1) r = k * \frac{(t+1)^{1.23} n^2 c^{0.46}}{p_j^{3.69}} * \frac{-tsj^{20}}{\log(tsj)}$$

presque exclusives avec l'homme, font plus de ravage que des populations importantes [...] inféodées à d'autres hôtes que l'homme " (idem).

La conjonction des contacts homme/glossine, des déplacements de populations à l'intérieur de leurs aires d'activité et des possibilités d'introduction du parasite rend compte des risques encourus par les diverses catégories sociales des différents groupes ethniques. On sait par ailleurs que :

1.- d'une manière générale la maladie du sommeil est liée aux densités de population. Elle ne se développe pas ou peu en dessous d'un seuil démographique situé aux alentours de 10/20 hab./km<sup>2</sup> utilisés, pas plus qu'elle n'est fonctionnelle lorsque ces densités, en zone forestière dépassent 80 à 100 hab./km<sup>2</sup>. (Hervouët et al., 2000).

2.- en Côte d'Ivoire (figure 5) :

- La THA contemporaine suit un boom démographique considérable alimenté par une très forte immigration. Le taux de croissance annuel de la population passe de 2,2 % l'an entre 1955 et 1963 à 6 % entre 1963 et 1975 pour atteindre 7 % entre 1975 et 1988. Il en résulte des situations sociales bien particulières et cela place la Côte d'Ivoire dans une situation spécifique par rapport à d'autres foyers d'Afrique Occidentale ou Centrale.

- Les espaces soumis à la maladie du sommeil sont constitués par les régions où la part de population résidant en campements est la plus grande. Pour l'ensemble de la zone forestière ivoirien-

ne, seulement 18 % de la population réside en campements, mais cette proportion monte à 34 % dans le Centre Ouest abritant les foyers de Vavoua, Bouaflé, Zoukougbeu, Sinfra... Dans les foyers eux-mêmes, cette proportion dépasse presque toujours 50 % pour atteindre parfois 75 %.

- Les campements sont petits et nombreux installés au cœur de plantations petites à moyennes, dépassant rarement 8 à 10 ha.

- En fait, la maladie du sommeil est essentiellement présente dans les espaces en recomposition foncière et sociale où mobilités, partages des lieux - comme les points d'eau - entraînent des contacts homme/vecteur denses et intimes. Ces espaces traduisent des liens intimes et complexes et un mode de fonctionnement systémique que nous assimilons à des paysages épidémiologiques se différenciant en paysages socialement fermés aux risques réduits en opposition aux paysages socialement ouverts à plus forts risques (Hervouët & al., 1987b). Deux types de " paysages épidémiologiques " sont ainsi observés selon l'intensité du risque. Le premier correspond à des espaces organisés autour de hameaux isolés les uns des autres. Les contacts homme/vecteur se limitent aux pratiques agricoles et à l'approvisionnement au point d'eau, la vie sociale étant cantonnée au sein des hameaux. A contrario le second type - au risque maximum - correspond à un espace géographique organisé selon un réseau de campements au sein des zones de plantations

(Laveissière & Meda, 1999). La fréquence et la qualité des contacts y est élevée du fait de la fréquentation de l'espace tant pour des échanges sociaux que pour des pratiques agricoles.

3.- En Guinée Conakry les zones à risques sont situées dans la mangrove alors que les malades sont principalement localisés dans les hameaux et villages à l'extérieur de celles-ci. L'exploitation agricole (riz et bois) ainsi que la pêche mobilisent une population alternante - avec des rythmes journaliers et/ou saisonniers - très exposée à la glossine. Les lieux privilégiés des contacts homme/vecteur sont principalement les embarcadères, les camps au fil de l'eau et les zones de culture du riz (figure 6). L'identification de ces éléments dans les méandres de la mangrove pourrait s'avérer fort utile pour l'élaboration de la cartographie des risques potentiels.

#### 4. UTILISER LA TÉLÉDÉTECTION ET L'ANALYSE SPATIALE POUR CARTOGRAPHIER LES INDICATEURS GÉOGRAPHIQUES DE RISQUE DE THA

La télédétection - Landsat, IRS et SPOT, par exemple - offre la possibilité, entre autre, de couvrir d'un seul regard d'importantes surfaces avec des résolutions spatiale et thématique adaptées à notre problématique (Bergquist, 2001 ; Rogers & al., 2002 ; Anyamba & al., 2002 ; Cattand & al., 2001; Lucas & al., 2001). La taille du pixel doit permettre de distinguer des éléments ponctuels d'une dizaine d'ares tels que les campements et points d'eau tandis que les bandes utilisées doivent assurer l'identification des principaux postes d'occupation du sol. À partir de 1986 cette résolution était offerte par les images SPOT, aujourd'hui les performances sont encore accrues et l'offre s'est considérablement diversifiée en matière d'imagerie satellitaire. N'oublions cependant pas que les contraintes météorologiques en milieux tropicaux tels que ceux qui nous intéressent ici limite



Figure 6.- Un campement disséminé au sein des plantations, risqué élevé



considérablement le choix des images. Enfin, les résolutions s'affinent en même temps que les capteurs se multiplient, il n'en reste pas moins le coût d'acquisition qui, bien que dérisoire en terme de santé publique, est souvent un frein à la mise en place de nos recherches en l'absence de volonté politique réelle. Nous remercions le CNES qui par ses programmes de Bons de Réduction d'Acquisition des Images Spots (BRAIS) a rendu possible la présente étude.

Les expressions spatiales de la THA en Guinée Conakry et en Côte d'Ivoire - bien qu'ayant de nombreux points communs - se traduisent par des indicateurs environnementaux plus ou moins difficiles à identifier à partir des images satellites. Dans tous les cas les missions de reconnaissances de terrain - comme c'est toujours le cas en télédétection - s'avèrent indispensables pour initier la phase de généralisation des traitements à l'ensemble des images.

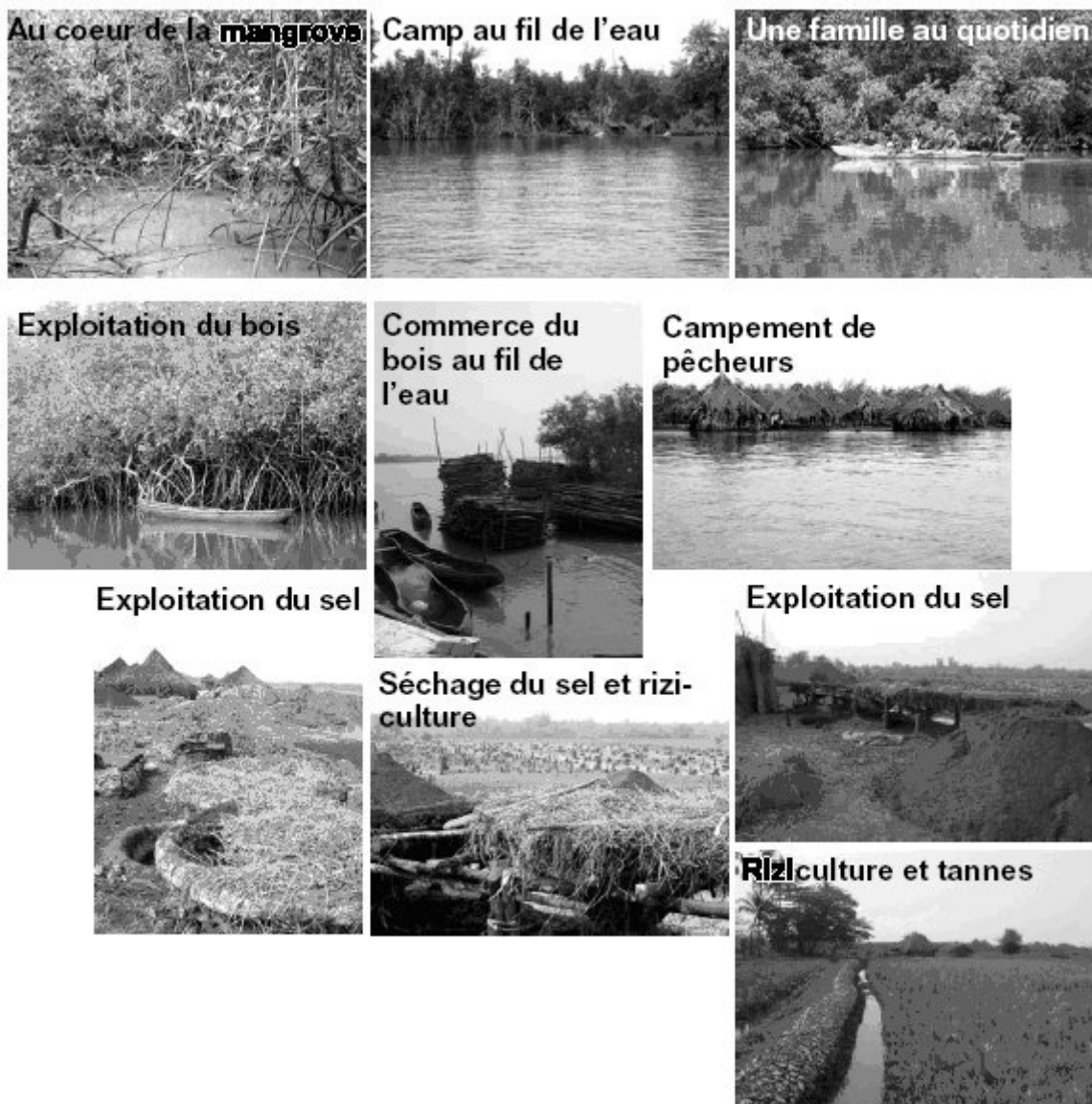


Figure 7.- Les zones à risque au fil de l'eau dans la mangrove

## 5. ANALYSE DE TEXTURE POUR IDENTIFIER LES CAMPEMENTS EN ZONE DE PLANTATIONS

La figure 8 présente la chaîne méthodologique mise en œuvre en Côte d'Ivoire. Elle est articulée autour de quatre étapes principales combinant analyse d'images et analyse spatiale. En premier lieu, une typologie de l'occupation du sol est obtenue selon une classification par maximum de vraisemblance à partir des données de terrain. Sont identifiés, principalement, les forêts, les plantations de café et de cacao, les bas-fonds, les cultures

coplantées de riz pluvial et maïs, les prairies, les zones d'affleurements et les secteurs construits. Au cours d'une classification pixel par pixel les confusions thématiques sont élevées pour ces deux derniers, c'est pourquoi nous développons dans une deuxième étape une procédure qui vise à distinguer les campements et hameaux des autres thèmes aux signatures spectrales identiques. L'image classée est vectorisée de manière à calculer la surface de chaque secteur contigu, de déterminer les coordonnées des centroïdes et des paramètres de forme. Les villages et gros hameaux sont facilement identifiés ainsi que leurs zones périphériques en ayant recours à des zones tampons. Les petites sur-

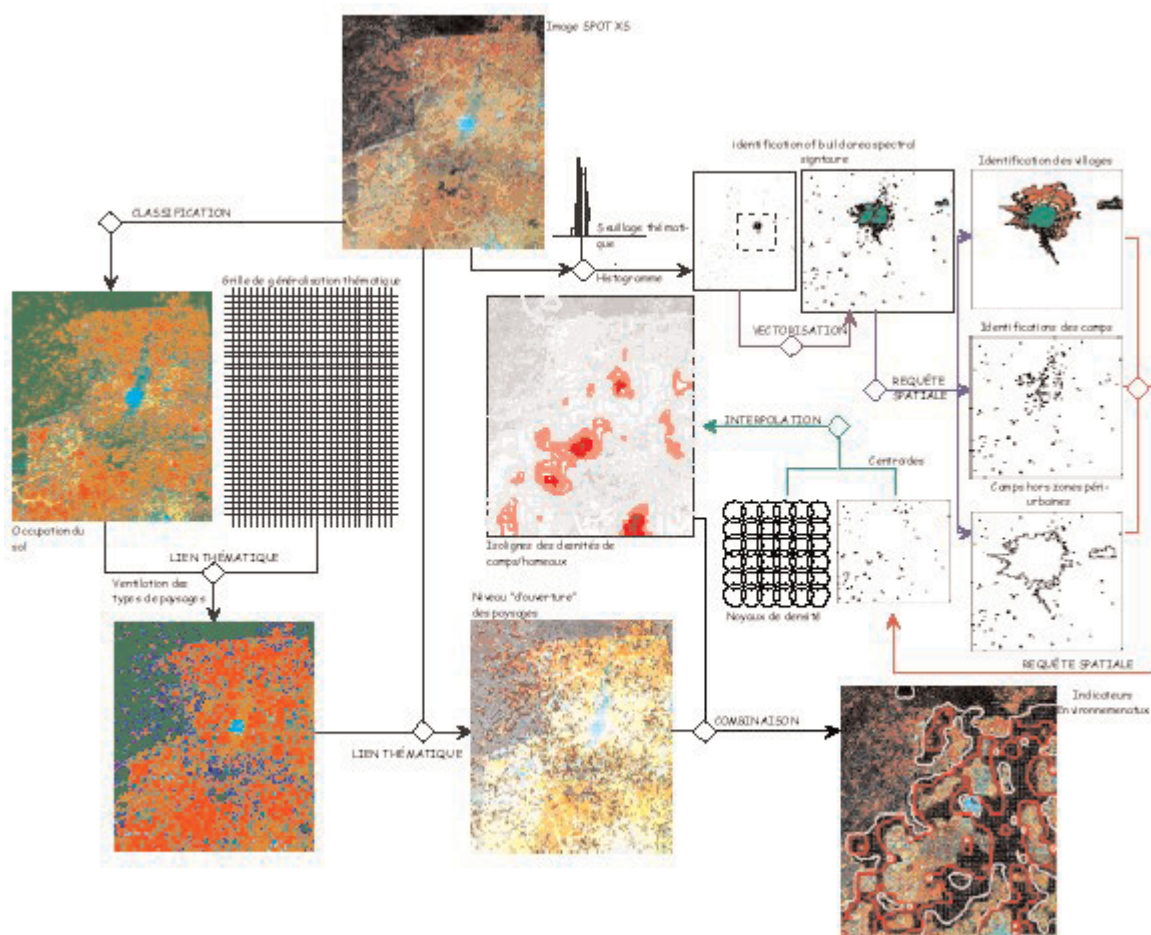


Figure 8.- Détail de la chaîne méthodologique appliquée en Côte d'Ivoire

faces qui restent sont définies comme campements lorsque leur forme est plus proche d'un carré (huttes disposées autour d'une aire de séchage) que d'une ligne (portion de route). Au cours d'une troisième et dernière étape, les densités apparentes de campements sont obtenues en utilisant un filtre fondé sur la méthode des noyaux de densité. Les résultats obtenus se présentent sous la forme d'isolignes. Dans une dernière étape, les classes d'occupation du sol obtenues à partir de l'image SPOT initiale sont ventilées dans une image dont la maille est plus grossière (500 m). Les distributions de fréquences d'apparition des différentes modalités permettent de définir une typologie fondée sur les niveaux de risque : risque maximal lorsque dominant les surfaces en café et cacao asso-

ciées à des points d'eau ; risque minimal dans les secteurs construits, les prairies ou au cœur des forêts ; risques intermédiaires dans les autres cas. Cette dernière grille est combinée aux résultats précédents afin de produire une carte des indicateurs environnementaux de risque de THA.

## 6. IDENTIFIER LES ZONES À PROXIMITÉ DES MÉANDRES ET DES RIZICULTURES DANS LA MANGROVE

La chaîne méthodologique mise en œuvre dans la mangrove (figure 8) reprend quelques éléments présentés plus haut mais n'intègre pas l'analyse de la texture. Les embar-

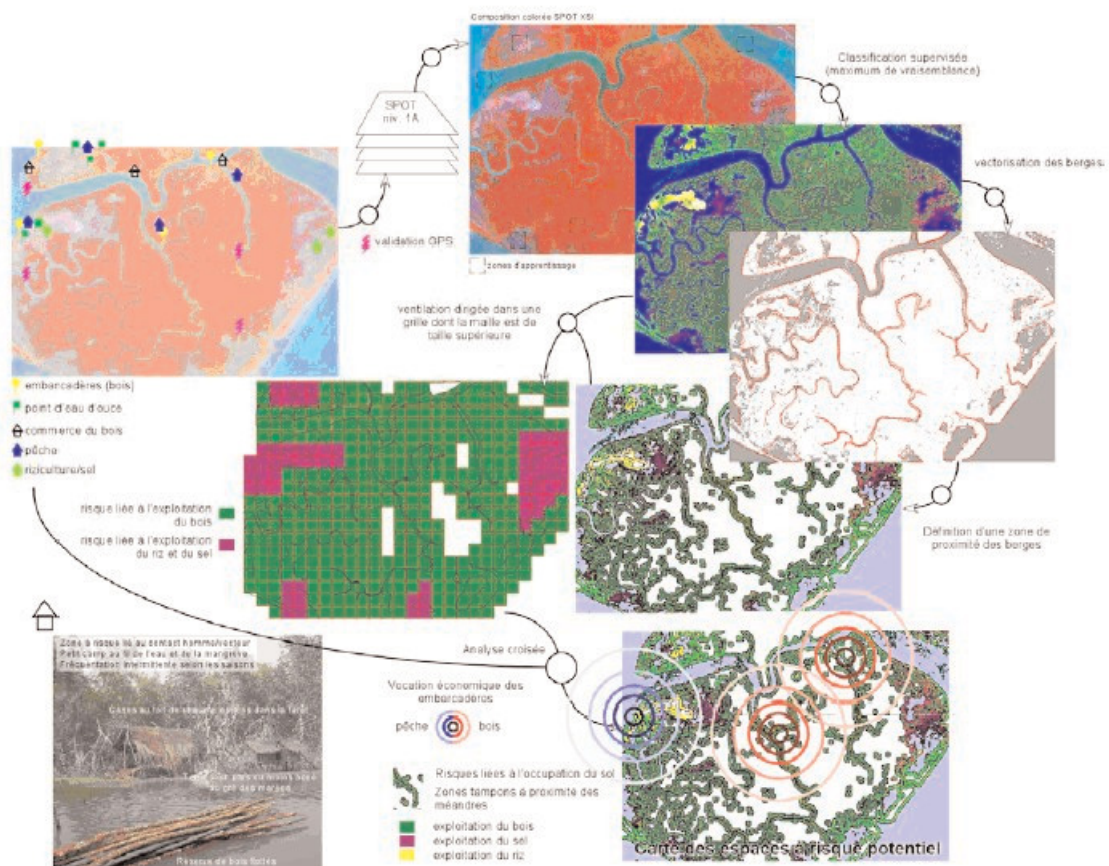


Figure 9.- Les traitements appliqués aux images de la mangrove guinéenne



cadères au fil de l'eau sont certes des zones à risque mais ils ne sont pas visibles dans les images satellites. Leur taille est très petite, ils sont "noyés" dans la végétation et lorsque ce n'est pas le cas ils ne sont pas identifiables avec le signal électromagnétique puisque les matériaux utilisés sont ceux de la mangrove : berge humide, bois et chaume essentiellement (la photo commentée de la figure 9 en témoigne). Cependant leur localisation géographique répond à une logique spatiale facilement compréhensible : tous les embarcadères sont par définition au bord de l'eau ; leur vocation commerciale - transport et vente - demande une implantation privilégiée selon les axes les plus courus, souvent à l'embouchure de plusieurs bras des méan-

dres. Puisqu'il est vain de chercher à identifier dans les images les campements nous les intégrons en fin de traitement suite à des relevés au GPS réalisés au cours d'une mission de reconnaissance en pirogue. Les données satellites sont exploitées de manière à cartographier les principaux postes d'occupation du sol et notamment les rizicultures et les salines. Il y a nécessairement à un moment ou un autre dans l'année des familles qui sont présentes pour cultiver le riz et/ou exploiter le sel. Ce sont par conséquent des secteurs où la fréquence et la qualité des contacts entre la mouche tsé-tsé et l'homme sont élevés ce qui se traduit par un risque important de contracter la maladie et d'infecter les mouches.

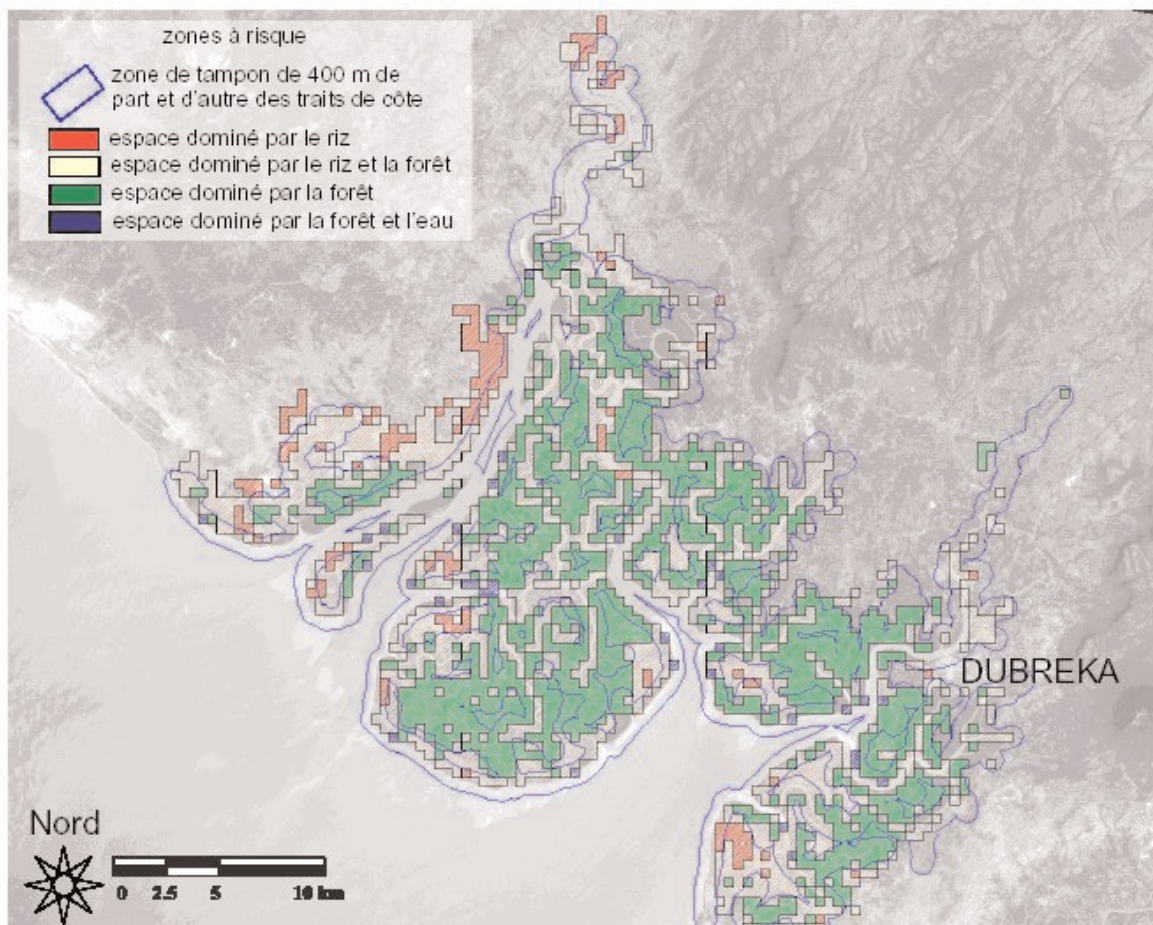


Figure 10.- Espaces à risque dans la mangrove

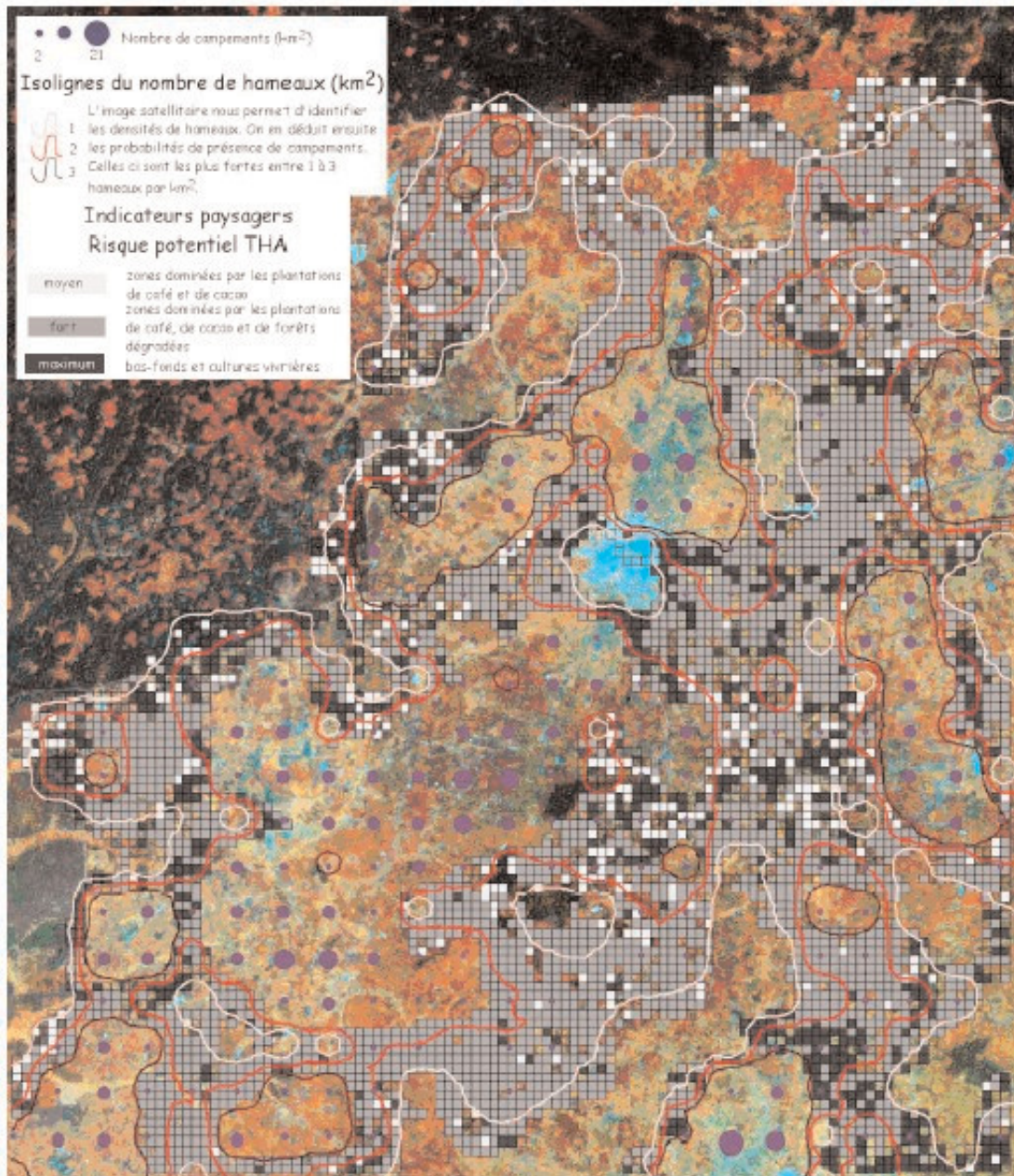


Figure 11.- Carte des indicateurs environnementaux de risque de THA à Bonon (Côte d'Ivoire)

## 7. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Prenons garde à ne pas mal interpréter les résultats, ceux-ci présentent la localisation des sites où sont identifiés les indicateurs environnementaux mis en avant, en aucun cas il

ne s'agit d'une carte de localisation stricto sensu de la maladie (figures 9 et 10). Nous identifions néanmoins les espaces des contacts homme/vecteur donc potentiellement à risque. Nous pouvons espérer que cette cartographie soit un appréciable support d'aide à la décision en matière de veille sani-



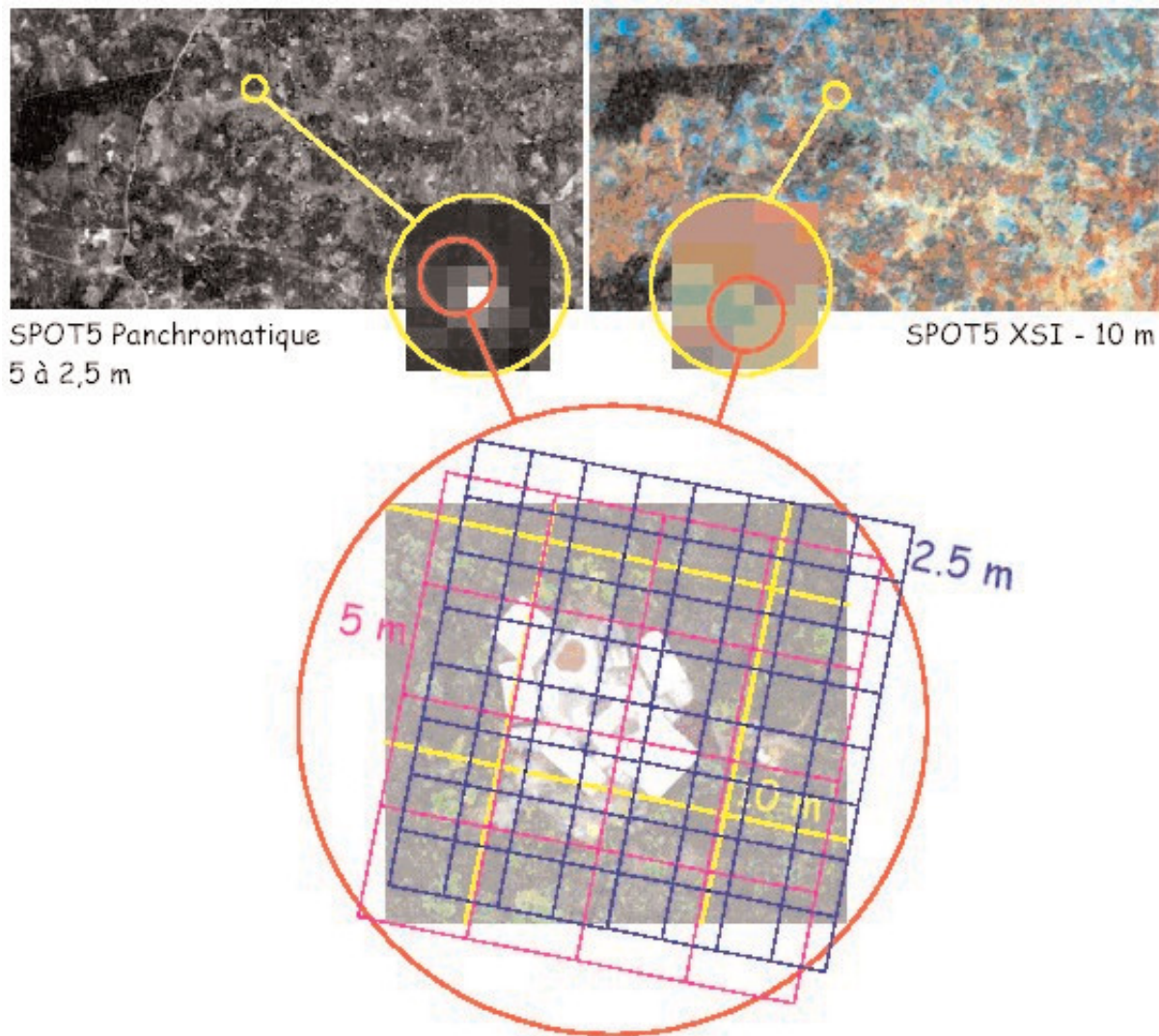


Figure 12.- La très haute résolution pour identifier des campements

taire en localisant les sites à enquêter en priorité. C'est d'ores et déjà une avancée significative qui dessine une direction intéressante à suivre.

D'un point de vue méthodologique, l'utilisation combinée de l'analyse d'image et de l'analyse spatiale pour traduire les facteurs de risque - identifiés à partir des enquêtes de terrain - en indicateurs environnementaux ou géographiques semble pertinente. Nous avons rencontré des limites liées en grande partie à la résolution des images utilisées ici

(Spot XS à 20 m et P à 10 m) qui ne permettent pas de localiser les campements en zone de plantations ivoiriennes et les embarcadères ou camps intermittents au fil de l'eau dans le mangrove guinéenne.

Le complexe pathogène lié à la présence des hommes dans la mangrove est beaucoup plus difficile à étudier. Le cycle des deux saisons est un facteur déterminant de la présence humaine et de la " qualité " des contacts avec le vecteur. Par ailleurs s'il est évident que de nombreuses familles séjour-



nent par intermittence dans la mangrove il est difficile d'estimer la présence humaine donc le risque réel. Enfin, les malades sont identifiés - lorsqu'ils le sont ! - dans leur habitat principal presque toujours à l'extérieur des zones d'infection, on ne peut donc qu'émettre des hypothèses sur les modalités exactes de la contraction de la maladie. Les facteurs de risque sont l'évidence difficilement traductibles en indicateurs environnementaux d'où l'étendue des zones potentielles mises en évidence dans la carte. Des compléments d'enquête sur le terrain sont ici à envisager sérieusement pour affiner la recherche des indicateurs géographiques. Si cette conclusion paraît évidente à tous elle ne l'est malheureusement pas dans sa concrétisation comme c'est trop souvent le cas dans les politiques dites d'aide au développement.

Dans le secteur de Bonon, il faut admettre qu'avec une résolution spatiale de 20 m, les plus petits éléments identifiés sont les hameaux et non les petits campements. Fort heureusement, les zones à forte densité de hameaux sont également caractérisées par une faible densité de campements et vice versa, d'où la possibilité in fine de produire la carte des risques potentiels.

La figure 10 montre les différences de résolution spatiale avec les capteurs Spot plus récents, il est évident que les images SPOT 5 panchromatiques à 5 ou 2.5 m de résolution seront mieux adaptées (les images IKONOS, par exemple, à 1 m de résolution ne couvrent pas un espace géographique suffisant pour répondre à une de nos priorités). Il faudra néanmoins les utiliser conjointement aux images multibandes (à 10 m désormais) seules aptes à l'identification des détails de l'occu-

pation du sol. N'imaginons pas que la très haute résolution spatiale et/ou l'imagerie radar rendra possible l'observation de tous les indicateurs clés pour l'analyse des risques sanitaires. Les campements noyés dans la végétation et aux matériaux " naturels " - essentiellement dans la mangrove, en zone de plantations l'ère de séchage ressortira très souvent dans la signature électromagnétique - resteront toujours invisibles dans les images, seules les reconnaissances de terrain permettront de les intégrer dans les couches d'informations.

Quoi qu'il en soit, dans un contexte d'absence de données épidémiologiques fiables et de défaillance des structures sanitaires, la production d'indicateurs synthétiques sur de vastes superficies ne peut être que bénéfique à la lutte contre la THA.

---

## 8. CONCLUSION

D'un point de vue technique, afin de promouvoir une reconnaissance des campements plus fidèle à la réalité, les méthodes fondées sur la segmentation d'image et l'analyse des cooccurrences sont à introduire dans la chaîne méthodologique. La validité de la démarche sera testée dans les deux sites en testant une phase décisionnelle indispensable à la portabilité de la méthode.

Enfin, pour une meilleure compréhension des facteurs de risque et de leur géographie nous entendons prendre en compte les modalités de fréquentation de l'espace. Par exemple, les points d'eau ne sont pas fréquentés uniquement selon la proximité aux campements mais également dans le but d'échanges

sociaux et familiaux au sein des plantations de café et de cacao. Or, ce sont des lieux où les contacts homme/vecteur sont élevés donc à fort risque de diffusion de la THA. L'intégration de cette connaissance ne peut s'envisager qu'en collaboration avec les services sanitaires lors de mission de terrain pluridisciplinaire qui, nous l'espérons, seront opérationnels dans un proche avenir.

---

## 9. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Anyamba A., Linthicum K.J., Mohoney R., Tucker C.J., Kelley P.W., 2002, " Mapping potential risk of rift valley fever outbreaks in African Savannas using vegetation index time series data ", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 68 (2), pp. 137-145.

Bergquist N.R., 2001, " Vector-borne parasitic diseases : new trends in data collection and risk assessment ", *Acta Tropica*, 79, pp. 13-20.

Cattand P., Jannin J., Lucas P., 2001, " Sleeping sickness surveillance : an essential step towards elimination ", *Trop. Med. Int. Health*, 6 (5), pp. 348-361.

Chroniques des Nations Unies, 2003, vol. XXXIX, n° 2.

Hendrickx G., de La Rocque S., Reid R. et Wint W., 2001, "Spatial trypanosomosis management: from datalayers to decision making", *TRENDS in Parasitology*, Vol.17, N°1, pp. 35-41.

Hervouët J.-P. & Laveissière C., 1983, " Les interrelations Homme/Milieu/Glossine et leurs répercussions sur le développement de la

maladie du sommeil en secteur forestier de Côte d'Ivoire ", *In De l'épidémiologie à la géographie humaine, Trav. et Doc. de Géo. Trop.*, 48, pp. 139-147.

Hervouët J.-P. & Laveissière C., 1987, " Facteurs humains de la maladie du sommeil ", *La medicina Tropicale nella Cooperazione allo Sviluppo*, 3, (2), pp. 72-78.

Hervouët J.-P. & Laveissière C., 1987, " Les grandes endémies : l'espace social coupable ", *Politique Africaine*, 28, pp. 21- 32.

Hervouët J.-P. et Laveissière C., 1988, " Écologie humaine et maladie du sommeil en Côte d'Ivoire forestière ", *Cah. ORSTOM, sér. ent. méd. et Parasitol.*, 25, (sp), pp. 101-111.

Hervouët J.-P., 1995, " La lutte contemporaine contre la maladie du sommeil : un SIG outil indispensable à la décision ", *actes du colloque AfricaGIS'95*, pp. 521-523.

Hervouët J.-P., Laffly D., Cardon L., 2000, " La maladie du sommeil en Côte d'Ivoire : à la recherche d'indicateurs de risque ", *Espace Population Société*, pp. 20-30.

Laffly D. & Hervouët J.-P., 2000, " Une mouche dans le capteur. Identification de facteurs de risque de la Trypanosomiase Humaine Africaine par télédétection et analyse spatiale ", *Espace Population Société*, pp. 35-45.

Laffly D., Hervouët J.-P., " La mouche Tsé-Tsé sous haute surveillance : cartographie des paysages épidémiologiques par télédétection et analyse spatiale ", *XYZ*, Paris, oct. 2002, pp. 40-47.

Laveissière C & Kienon J.-P., 1979, " Effets de l'accroissement des activités humaines sur la forêt du sud ouest de la Côte d'Ivoire ", *Enquête sur les glossines de la forêt de Tai*, OCCGE/Centre Muraz/ENT/79, pp. 1-8.

Laveissière C & Méda A.H., 1999, " Incidence de la maladie du sommeil et densité de campements de culture en forêt de Côte d'Ivoire : possibilités de prédiction des zones à risques pour la mise en place précoce d'un réseau de surveillance ", *Trop.Med. Intern.Health* 4, (3), pp. 199-206.

Laveissière C. & Hervouët J.-P., 1991, " La trypanosomiase humaine en Afrique de l'Ouest. Epidémiologie et contrôle ", *Coll. Didactique, orstom*, 157 p.

Laveissière C., Sané B., Dialla P.B., Truc P. & Méda A.H., 1997, " Le risque épidémiologique dans un foyer de maladie du sommeil en Côte d'Ivoire ", *Trop. Med. Intern. Health*, 2, (8), pp. 729-732.

Laveissière C., Sané B., Méda A.H., 1994, " Measurement of risk in endemic areas of HAT in Ivory Coast ", *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.*, 88 (6), pp. 645-648.

Lointier M., Truc P., Drapeau L., Nanga S., Tarek M., 2001, " Methodology to determine risk zones for sleeping sickness in Ivory Coast by the spatial approach ", *Med. Trop.*, 61 (4-5), pp. 390-396.

Lucas P., Fanchey G., Mouton C., Jannin J., 2001, " Monitoring HAT in Central Africa in 2001 and cartography: results and perspectives ", *Med. Trop.*, 61 (4-5), pp. 361-364.

Penchenier L. et al, 1996, " Historique et évolution de la maladie du sommeil dans les pays de l'OCEAC ", *Bull. liais. Doc. OCEAC*, 29 (3), pp. 11-21.

Rogers D.J., Myers M.F., Tucker C.J., Smith P.F., White D.J., Backenson P., Eidson M., Kramer L.D., Kakker B., Hay S.I., " Predicting the distribution of west Nile fever in north America using satellite sensor data ", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 68 (2), pp. 112-114.

Picheral H., 1982, " Géographie médicale, géographie des maladies, géographie de la santé ", *L'espace géographique*, tome 2, n°3, pp. 161-75.

Ribereau C., 1996, "Gestion des espaces littoraux et maladie du sommeil : l'exemple de Dubreka ", mémoire de maîtrise (dir. G. Rossi), Univ. Bordeaux 3, 160 p.

Sorre M., 1933, " Complexes pathogènes et géographie médicale ", *Ann. De géo.* # 235, pp. 1-18

Stanghellini P.A., 1 Duvallat G., 1981, " Epidémiologie de la Trypanosomiase Humaine à *Trypanosoma gambiense* dans un foyer de Côte d'Ivoire. I- Distribution de la maladie dans la population ", *Tropen. Med. Parasitol.* (32), pp. 141-144.