

Cartographie du risque bilharzien dans la région de la marahoué (Côte d'Ivoire)

[Bilharzia risk mapping in the marahoué region (Côte d'Ivoire)]

Gnahoua Guy Roger Gnazole¹, Aya Nicaise N'Guessan Née Okoubo², and Fulgence Kouamé Kouame³

¹Unité de Recherche et d'Expertise Numérique, Université Virtuelle de Côte d'Ivoire, Abidjan, Côte d'Ivoire

²Zoologie et Biologie Animale de l'UFR Biosciences, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire

³Département de géographie physique, Université Alassane Ouattara, Bouaké, Côte d'Ivoire

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Bilharzia or schistosomiasis is a parasitic disease present in the Marahoué region and constitutes a major public health problem. The spread of this disease is closely linked to the ecology of intermediate hosts, conditioned by environmental, climatic, socio-demographic and health factors. If morbidity is to be reduced, we need to have a better understanding of the spatial distribution of distribution factors, and to identify and locate outbreaks as well as areas at risk of contamination.

The aim of this study is to map, using remote sensing and GIS, the areas at risk of bilharzian contamination in the Marahoué region.

By classifying the parameters according to factors of risk and vulnerability to infection using Saaty's multi-criteria analytical hierarchical process of complete aggregation by weighting, we were able to assign weights to each parameter.

This methodology was used not only to draw up sensitivity and vulnerability maps for 2003 and 2013, but also to assess the risk of bilharzia infection.

We noted four potential areas of risk of bilharzia contamination located around the region's major towns. Of the 32 localities surveyed, 13 (40.62%) were located in high or medium risk areas. The year 2003 was marked by a predominance of presumed intestinal bilharziasis, estimated at 62.50%. However, in 2013 we observed an acute presence of urinary bilharziasis estimated at 81.25%, compared with 18.75% for intestinal bilharziasis.

KEYWORDS: Mapping, Bilharzia, multi-criteria analysis, risk area, Marahoué, Côte d'Ivoire.

RESUME: La bilharziose ou schistosomiase est une affection parasitaire présente dans la région de la Marahoué et constitue un problème majeur de santé publique. L'expansion de cette maladie est fortement liée à l'écologie des hôtes intermédiaires, conditionnée par les facteurs environnementaux, climatiques, socio-démographiques et sanitaires. Une baisse de la morbidité nécessite une meilleure connaissance de la répartition spatiale des facteurs de distribution, l'identification et la localisation des foyers mais aussi des zones à risque de contamination.

L'objectif de cette étude est de cartographier au moyen de la télédétection et des SIG, les zones à risque de contamination bilharzienne de la région de la Marahoué.

La classification des paramètres par facteurs d'aléa et de vulnérabilité à l'infection selon le Processus de hiérarchisation analytique multicritères d'agrégation complète par pondération de Saaty, nous a permis d'affecter des poids à chaque paramètre.

Cette méthodologie a permis non seulement d'élaborer les cartes d'aléa et de vulnérabilités des années 2003 et 2013 mais aussi d'évaluer le risque d'infection bilharzienne.

Ainsi nous notons quatre potentiels zones de risque de contamination bilharzienne localisées autour des grandes villes de la région. 13 localités sur les 32 enquêtées se situent en zones de risque élevé et moyennement élevé soit 40,62 %. L'année 2003 est marquée par une prédominance de présence de présomption de bilharziose intestinale estimée à 62,50 %. Par contre en 2013 nous observons une présence aigue de bilharziose urinaire estimée à 81,25 % contre 18,75 % de bilharziose intestinale.

MOTS-CLEFS: Cartographie, Bilharziose, analyse multicritère, zone à risque, Marahoué, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

Les maladies hydriques ou à supports hydriques sont l'une des principales causes de maladie dans le monde et de mortalité dans les pays en développement. L'OMS, estime dans son rapport du 28 juin 2008 que l'eau contaminée est à l'origine de 9,1 % des maladies et 6% des décès enregistrés chaque année dans le monde [1]. Dans les pays en développement, 80% des maladies sont dues à l'eau et un Africain sur deux souffre d'une maladie hydrique [2]. Ainsi, l'eau source de vie et essentiel à la survie, est le support de transmission de plusieurs maladies dans tous les pays du monde; des plus pauvres au plus riches. Les scientifiques dénombrent plus d'une vingtaine de maladies hydriques ou à support hydrique, dont les plus répandues et les plus graves sont la diarrhée, le paludisme, la poliomyélite, le choléra, la dengue, l'amibiase, l'hépatite, la bilharziose, les géo helminthiases, etc, [3].

La bilharziose ou schistosomose ou encore appelée schistosomiase, est après le paludisme l'affection parasitaire la plus répandue dans le monde, essentiellement dans les pays tropicaux et les pays en développement. Elle touche plus de 200 millions de personnes de façon chronique et 300000 personnes en meurent chaque année [4]. Elle connaît actuellement une recrudescence dans certaines régions du monde. Cette parasitose affecte toute la zone intertropicale et centrale du continent africain. Elle sévit aussi bien en Amérique, en Extrême-Orient que dans le bassin du Mékong regroupant le Cambodge, Laos et la Thaïlande ([4], [5]). Le risque d'infection parasitaire est lié à l'exposition aux eaux infestées par des schistosomes émanant des mollusques gastéropodes d'eau douce lors d'activités agricoles, domestiques ou de loisirs. Le manque d'hygiène, la mauvaise gestion du péril fécal et l'indisponibilité d'eau potable dans certaines régions créent une inégale répartition spatiale des facteurs de transmission.

En Côte d'Ivoire, des études destinées à déterminer la prévalence de la bilharziose ont montré l'omniprésence de cette pathologie dans plusieurs localités du pays. Notamment les travaux transversaux sur la morbidité échographique de la bilharziose urinaire chez les écoliers de six localités situées autour du grand barrage de Taabo et dans la région de Bouaflé avec 17,5 % d'infestation. ([6], [7]). L'étude menée sur les hôtes intermédiaires de bilharzioses dans les petits barrages du Nord ivoirien par échantillonnage et suivi longitudinal de la période de 1995 à 1997 a révélé une probabilité de transmission de bilharziose intestinale dans les retenues pastorales et la probabilité de transmission de bilharziose urinaire dans cette partie du pays [8]. Il faut souligner que la présence d'individus atteints de bilharziose à *Schistosoma haematobium* et *mansoni* sont signalées dans tous les centres hospitaliers, notamment autour du lac Kossou, aux alentours de Bouaké (au centre), dans la région d'Adzopé-Agboville (au Sud-Est), à San-pédro (au Sud-Ouest) et surtout dans la zone de Man-Danané (à l'Ouest) et ont fait l'objet d'une étude précise [9].

La présence constante de cette maladie fait de la Côte d'Ivoire un pays d'endémie pour la bilharziose. Ce constat trouve également son fondement dans le climat ivoirien faisant de celui-ci un pays arrosé par des précipitations régulières et abondantes. Un réseau hydrographique marqué par la présence de quatre grands fleuves, de rivières et de lacs partant du nord au sud. La construction de barrages sur ces principaux fleuves, crée un environnement favorable au développement des bulins et des planorbes hôtes intermédiaires de la bilharziose. De même les aménagements hydrauliques ne sont pas seulement utilisés à des fins agricoles mais sont souvent le lieu de multiples activités: pêche, baignades, lessives et jeux des enfants.

Face à cette endémicité, plusieurs programmes et stratégies de lutte ont été organisés et ont bénéficié de l'appui de l'OMS dans le but d'éradiquer cette parasitose. Notamment les travaux ouverts aux bureaux de ladite organisation sur les MTN (maladies tropicales négligées). Toutefois le manque de cartographies descriptives de la répartition spatiale d'infestation et des facteurs de distributions de la bilharziose à l'échelle régionale et nationale, constituent un facteur limitant dans toute stratégie de lutte. Ainsi la mise à disposition de cartes de risque bilharzien serait un atout considérable dans la lutte épidémiologique.

2 MATERIEL ET METHODE

2.1 ZONE D'ETUDE

La Marahoué est une région du Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire en Afrique de l'Ouest. Elle est située entre 6°30 et 7°40 de Latitude Nord et 5°30 et 6°20 de Longitude Ouest avec pour Chef-Lieu de région le Département de Bouaflé situé à plus de 300 km d'Abidjan (Figure 1). Elle couvre une superficie 8500 Km² et une population estimée à 862344 habitants ([10]) pour une densité de 101 hbts/km². Elle est composée de trois départements que sont Bouaflé, Zouenoula et Sinfra. La région de la Marahoué est limitée au Nord par la région du BERE, au Sud par la région du GOH, à l'Est par la région du GBEKE, du BELIER et du District Autonome de Yamoussoukro, et à l'Ouest par la région du Haut Sassandra.

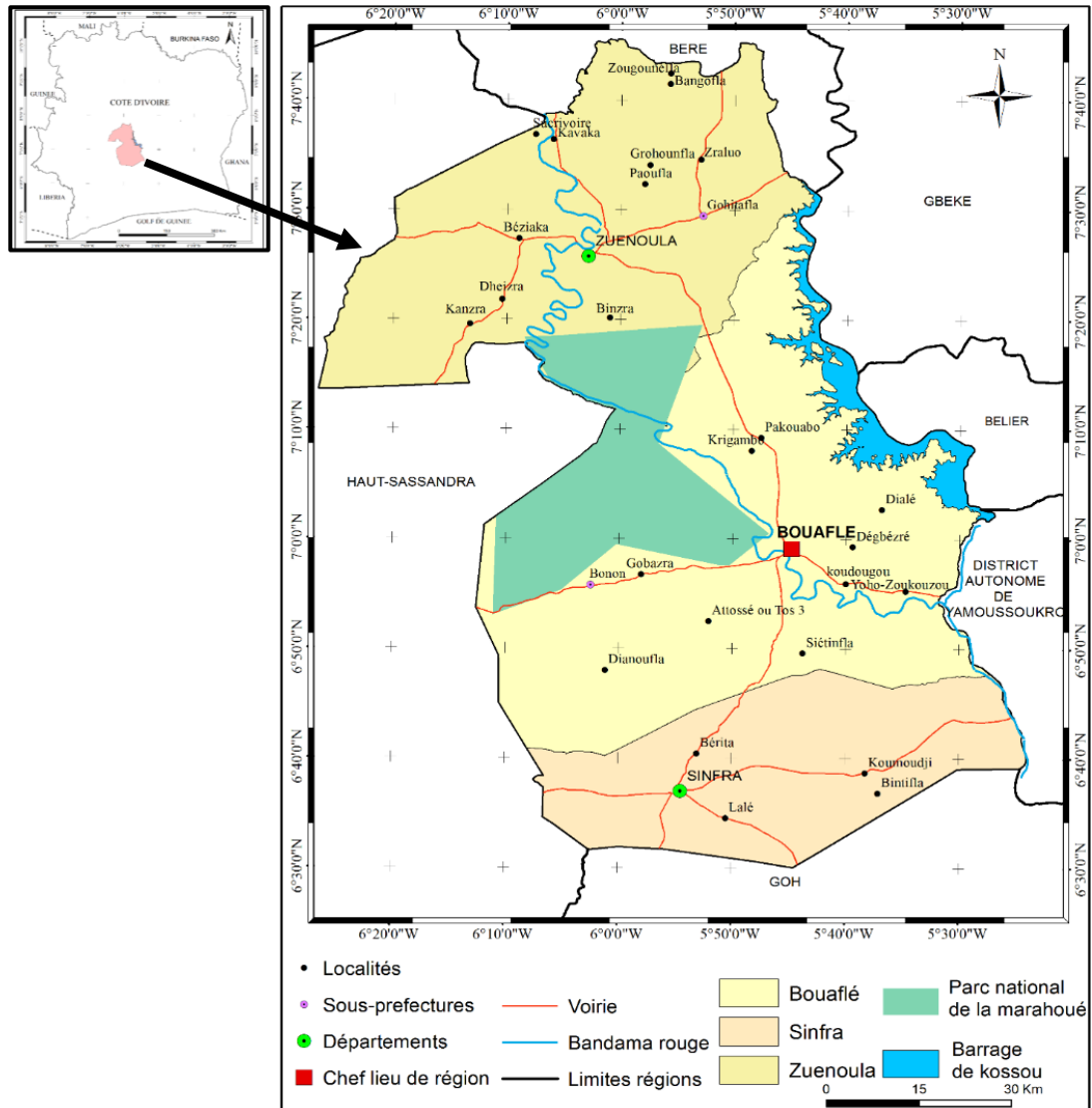


Fig. 1. Situation géographique et présentation de la zone d'étude

2.2 MATERIEL ET DONNEES UTILISEES

2.2.1 MATERIEL

Comme matériel de terrain nous avons eu recours à un GPS (Global Positioning System) garmin GPSMAP 64 pour géolocaliser les localités de la région, les écoles enquêtées et les points d'eau. Le logiciel DNR GPS pour l'extraction des données du GPS, ENVI 5.1 pour le prétraitement des images satellitaires et ArcGIS 10.2.2 pour l'analyse spatiale et la production des cartes.

2.2.2 DONNEES UTILISEES

Ce travail a regroupé plusieurs données. Au nombre de ces données, nous pouvons retenir les données démographiques. Il s'agit des utilisées de l'Institut Nationale de la Statistique (INS) du dernier recensement général de la population et de l'habitat effectué en 2014 et disponible sur le site: <http://www.ins.ci/n/>.

Les données épidémiologiques, celles recueillies auprès de l'équipe de parasitologie et écologie parasitaire du laboratoire de zoologie et biologie animale de l'Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan. Elles regroupent des données cliniques de morbidité des bilharzioses des années 2003 et 2013. Les données de 2003 traduisent des cas de présomption des bilharzioses urinaire et intestinale basés sur un questionnaire relatif à la présence de sang dans les urines et dans les selles. Celles de 2013 sont des cas avérés issus d'examen parasitologiques (filtration ([11]) et kato-katz ([12])). Ces données sont celles de la région de la Marahoué regroupés par localités.

Les données satellitaires, celles du satellite Landsat 7 du capteur multi spectral ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) du 8 février 2003 et du 3 février 2013. Ces images se présentent sous forme de scènes cataloguées et hiérarchisées selon le path (197) et le row (55).

L'image ASTER prise par le capteur multi bande du radar ASTER-GDEM du satellite Terra de l'agence spatiale américaine (NASA), d'une résolution de 30 m a été utilisée pour réaliser la carte de pente de la zone d'étude.

Le fond de carte de la région de la Marahoué a été obtenu par digitalisation de la carte du nouveau découpage administratif de la Côte d'Ivoire réalisée à l'échelle 1/ 800 000.

Les données pluviométriques récoltées sont celles des précipitations de la région, fournies par le satellite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) de la NASA (National Aeronautics and Space Administration) relevées en 2003 et en 2013.

2.3 METHODOLOGIE

2.3.1 CARTOGRAPHIE DE LA DISTRIBUTION SPATIALE DE LA BILHARZIOSE

L'établissement des cartes de la distribution spatiale des bilharzioses ont été réalisées à partir des données épidémiologiques des années 2003 et 2013 relatives aux bilharzioses urinaire et intestinale. Nous avons réalisé sous le logiciel ArcGis 10.2.2, les cartes de la distribution spatiale de l'infection ont été réalisées de façon ponctuelle. Cette forme de représentation nous donne une vue d'ensemble sur les deux bilharzioses (urinaire et intestinale) et leurs proportions dans chaque localité enquêtée. Les niveaux de prévalence, le risque de contamination et les mesures à prendre sont fonction selon l'OMS de l'enquête basée sur l'examen parasitologique ou l'enquête basée sur l'hématurie visible (tableaux 1 et 2).

Tableau 1. Prévalence et niveau de risque de schistosomiase intestinale et urinaire basé sur l'examen parasitologique [13].

Prévalence	Risque	Mesure à prendre
≥ 50 %	Risque élevé	Traiter tous les enfants d'âge scolaire (scolarisés ou non) une fois par an et les communautés vivant dans les zones d'endémie.
[10 – 50 % [Risque modéré	Traiter tous les enfants d'âge scolaire (scolarisés ou non) une fois tous les deux ans et les adultes considérés comme exposés au risque.
< 10 %	Risque faible	Traiter tous les enfants d'âge scolaire (scolarisés ou non) deux fois en tout (à l'entrée et à la sortie de l'école primaire par exemple). Le praziquantel doit être disponible dans toutes les cliniques et dispensaires pour traiter tout cas suspect.

Tableau 2. Prévalence et niveau de risque de schistosomiase urinaire basé sur l'hématurie visible [13].

Prévalence	Risque	Mesure à prendre
≥ 30 %	Risque élevé	Traiter tous les enfants d'âge scolaire (scolarisés ou non) une fois par an et les communautés vivant dans les zones d'endémie.
< 30 %	Risque faible	Traiter tous les enfants d'âge scolaire (scolarisés ou non) une fois tous les deux ans et les adultes considérés comme exposés au risque.

2.3.2 CARTOGRAPHIE DES PARAMETRES LIES A L'ALEA DE L'INFECTION BILHARZIENNE

2.3.2.1 CARTE DE PLUVIOMETRIE

Les éléments du climat telle que la pluviométrie reste un facteur indispensable à la survie des mollusques d'où l'importance de sa cartographie. Selon les études menées par Poda ([14]) au Burkina Faso, l'existence de la majorité des vecteurs d'endémies est liée à la présence d'eau de surface, courante et surtout stagnante. L'écologie de ces mollusques étant liée à l'humidité du sol. Le sol ne peut être humide que si ce sol est arrosé périodiquement par des pluies. Les études malacologiques qui ont été faites, l'ont été pour la plupart plus en saison de pluie qu'en saison sèche [15].

2.3.2.2 CARTE DE TEMPERATURE

Bien que les saisons sèches où les températures sont élevées seraient défavorables à la survie de certains mollusques notamment ceux de grande taille, les mollusques du genre *Bulinus* tels que *B. truncatus*, *B. globosus* et *B. umbilicatus* sont capables de résister à un assèchement complet de 7 à 8 mois [16], ce facteur reste néanmoins un élément important dans le cycle de transmission de la bilharziose. En effet, les cercaires n'émergent des mollusques qu'aux heures chaudes de la journée, en général entre 10 h et 16 h en pays tropical et pendant plusieurs semaines [17].

2.3.2.3 CARTE D'INDICE D'EAU (NDWI)

La bilharziose est une maladie hydrique ou à support hydriques. Les mollusques hôtes intermédiaires vivent dans des étendues d'eau douce bien oxygénée. Ils sont présents dans les mares et les marigots naturels ou artificiels. Ils occupent le bord peu profond des rivières, des lacs et sont dans les canaux d'irrigation à 20 ou 30 cm de profondeur. En général, *B. truncatus* se trouve dans les grands lacs et les rivières mais uniquement sur les bords calmes et peu profonds. L'écologie des bulins explique que la bilharziose est organisée en foyers centrés sur les points d'eau qui sont les lieux de transmission [17]. Les formations forestières le long des cours d'eau maintiennent toujours une atmosphère humide très favorable au développement des bulins et des planorbes hôte intermédiaires des schistosomiasis [7]. La présence du barrage de Kossou dans l'extrême Est de la région; la présence du fleuve Marahoué qui draine la région justifie le choix de la représentation cartographique des plans d'eau afin de mettre évidence le lien direct entre la distribution spatiale de l'infection et les plans d'eau. L'indice d'eau ou indice d'eau par différence normalisé a pour formule:

$$NDWI = (PIR - MIR) / (PIR + MIR) \in [-1, 1]$$

Cet indice est relié aux bandes d'absorption d'eau dans le MIR et met en évidence la végétation humide et les surfaces en eau [18].

2.3.2.4 CARTE DU RELIEF

Le relief détermine le sens d'écoulement des cours d'eau. L'écoulement des eaux de surface se fait des zones élevées vers les basses. Elle affecte donc la répartition des eaux sur un territoire donné. Les basses altitudes sont des zones favorables aux eaux de stagnation et de regroupement des eaux de ruissellement. Les basses altitudes regorgeront plus de zones humides et favorables à l'habitat des mollusques hôtes intermédiaires de l'infestation bilharzienne. A partir du MNT de la région et grâce à l'outil « Slope » du module « surface » d'ArcGis 10.2.2, nous avons généré directement la carte des pentes.

2.3.3 CARTOGRAPHIE DES PARAMETRES LIES A LA VULNERABILITE DE L'INFECTION BILHARZIENNE

2.3.3.1 CARTE DU COUVERT VEGETAL (NDVI)

L'indice de végétation par différence normalisé, appelé aussi NDVI est construit à partir des canaux rouges (R) et proche infrarouge (PIR) [19]. L'indice de végétation normalisé met en valeur la différence entre la bande visible du rouge et celle du proche infrarouge.

$$NDVI = (PIR - R) / (PIR + R)$$

Cet indice est sensible à la vigueur et à la quantité de la végétation. Les valeurs du NDVI sont comprises entre -1 et +1. Les valeurs négatives correspondant aux surfaces autres que les couverts végétaux, comme la neige, l'eau ou les nuages pour lesquelles la réflectance dans le rouge est supérieure à celle du proche infrarouge. Les formations végétales quant à elles, ont des valeurs de NDVI positives, généralement comprises entre 0,1 et 0,7. Les valeurs les plus élevées correspondent aux couverts les plus denses. En effet, l'écologie des gastéropodes responsable de la bilharziose est constituée en général d'eaux douces et calmes, de végétaux aquatiques, de collections d'eaux permanentes, de rivières et fleuves [3]. La végétation et les étendues d'eaux douces sont des zones de prolifération de ces mollusques. Des études malacologiques montrent que ces indices sont fortement liées à l'écologie des *Bulinus* et des *Bomphalarias* notamment celles menée par Ngonseu [15] et Djuikwo [20] au Cameroun et par Sarr [21] au Sénégal. Le NDVI peut être généré directement sous le logiciel ENVI 5.1 grâce au module « Transform » et sous le logiciel ArcGis 10.2.2 grâce au module « Image Analysis »

2.3.3.2 CARTE DE LA DENSITE DE DRAINAGE

La carte de densité de drainage est obtenue à partir du réseau hydrographique. Le réseau hydrographique quant à lui est extrait du modèle numérique d'altitude (MNA) sous le logiciel ArcGis 10.2.2 grâce aux outils de la boîte « Hydrology » du module « Spatial Analyst Tools ». Une fois le réseau hydrographique extrait, on détermine la longueur des différents cours d'eau de la région exprimée en Km puis la superficie de la région. Ce calcul s'effectue dans le logiciel grâce à l'outil « Calculate Geometry ». Nous déterminons ensuite la densité de drainage par la formule $DD = (\sum Li / S)$ avec DD: densité de drainage (Km^{-1}); Li: longueur des cours d'eau (Km) et S: la superficie de la région.

2.3.3.3 CARTE DE LA REPARTITION DE LA POPULATION

La population est dans le cycle de transmission de la bilharziose l'hôte définitif. C'est dans le corps ou organisme de l'infecté que la furcocercaire ou cercaire devient successivement schistosomule puis schistosome capable de procréer [5]. C'est la population ici qui constitue notre cible c'est-à-dire celle pour qui l'étude est menée et celle que nous souhaitons sortir de cette endémie. Il ne peut y avoir de risque que s'il y a présence humaine ou de bien matériel (enjeu). Lorsqu'une population cible est sous la menace d'un danger, on parle alors de risque. La carte de répartition de la population a été réalisée à partir des données de l'Institut nationale des Statistiques (INS). Les données fournies n'étaient

que celles de 2014 c'est-à-dire l'état de la population ivoirienne en termes de nombre d'habitant par région, département, sous-préfecture et district au 15 mai 2014. Nous avons donc calculé sur la base de cette donnée et du taux d'accroissement moyen annuel (TAMA) fourni, la population des différentes localités de la zone d'étude des années 2003 et 2013.

2.3.4 METHODE D'ANALYSE HIERARCHIQUE DE SAATY (AHP)

La classification de nos paramètres est basée sur l'échelle de Saaty pour la comparaison des critères [22]. Cette classification des critères est faite selon la méthode AHP (Analytic Hierarchy Process) proposé par Saaty en 1980 (Voir tableau 3). En effet selon l'auteur, cette méthode permet la prise de décisions efficaces relatives à des problèmes complexes par sa décomposition et sa structuration en des problèmes plus accessibles aux décideurs afin d'affiner leurs processus de décision [22]. Elle est donc très intéressante dans la quantification et la hiérarchisation des paramètres caractérisant la cartographie des zones à risques bilharzien. Cette classification nous permet d'attribuer à chaque critère ou paramètre une valeur propre (V_p) témoignant de son degré d'implication ou d'importance dans la transmission de la maladie.

Tableau 3. Echelle de Saaty pour la comparaison de critères [23]

Valeurs	Comparaison	Echelle verbale
1	Egale importance	Les deux éléments ont une importance égale
3	Modérément important	Un élément est un peu plus important que l'autre
5	Important	Un élément est plus important que l'autre
7	Très important	Un élément est beaucoup plus important que l'autre
9	Extrêmement important	La dominance d'un élément est très remarquable
2, 4, 6, 8	Valeurs intermédiaires	Valeurs intermédiaires entre deux jugements, utilisées pour affiner le jugement

2.3.4.1 COMBINAISON BINAIRE ET DETERMINATION D'INDICATEURS

Les différents paramètres ou critères retenus, ont été combinés en indicateurs pour faire ressortir les grands ensembles qui caractérisent une région à savoir: l'hydrographie (Indice d'eau), le climat (Température au sol et Pluviométrie), la géomorphologie (Pente), le paysage (couvert végétal et densité de drainage) et l'organisation de l'espace tant urbain que rural (Répartition de la population). Pour chaque paramètre, nous avons défini des symboles. Les indicateurs élaborés ont été scindés en deux facteurs majeurs de risque que sont l'aléa (tableau 4) et la vulnérabilité (tableau 5).

Tableau 4. Indicateurs de d'aléa

Indicateurs	Paramètres	Symboles
Hydrographie	Indice d'eau (NDWI)	IE
Climat	Pluviométrie (mm)	PL
	Température au sol (°C)	TS
Géomorphologie	Pente	PT

Tableau 5. Indicateurs de vulnérabilité

Indicateurs	Paramètres	Symboles
Paysage	Couvert végétal (NDVI)	CV
	Densité de drainage	DD
Organisation de l'espace	Répartition de la population	RP

2.3.4.2 DÉTERMINATION DES POIDS OU COEFFICIENT DE PONDÉRATION

La pondération des critères de décision peut être effectuée suivant la méthode de comparaison par paire des différentes variables par le processus d'analyse hiérarchique (Analytical Hierarchy Process). Les études réalisées par Saley dans la région de Sassandra pour la détermination des zones sensibles au risque d'inondation dans le bassin versant de la Davo [22] et dans la région semi-montagneuse de Man [24]; ainsi que

celles réalisées par Louga [25] dans les localités Bonoua et d'Ayamé pour la cartographie des facteurs environnementaux, gouvernant la prolifération des vecteurs du paludisme et le risque de transmission; nous ont permis de mieux comprendre la méthode de l'évaluation multicritère et la détermination des coefficients de pondération ou poids.

2.3.4.3 ÉLABORATION DES MATRICES ET DÉTERMINATION DES POIDS (C_p)

Les tableaux 6 et 7 ci-dessous sont les matrices d'aléa et de vulnérabilité. Ils nous donnent les coefficients de pondérations ou poids des différents paramètres d'aléa et de vulnérabilité des années retenues pour l'étude.

Tableau 6. Matrice d'aléa

	PT	TS	PL	IE	Vecteur propre (V _p)	Poids (C _p)
PT	1	0,33	0,2	0,14	0,31	0,06
TS	3	1	0,33	0,2	0,67	0,12
PL	5	3	1	0,33	1,50	0,26
IE	7	5	3	1	3,20	0,56
SOMME	16	9,33	4,53	1,68	5,68	1

Tableau 7. Matrice de vulnérabilité

	CV	DD	RP	Vecteur propre (V _p)	Poids (C _p)
CV	1	0,33	0,2	0,41	0,10
DD	3	1	0,33	1	0,26
RP	5	3	1	2,47	0,64
SOMME	9	4,33	1,53	3,87	1

Les vecteurs propres et les coefficients de pondération ont été calculés selon les formules suivantes:

Equation 1: $V_p = \sqrt[k]{W_1 x \dots x W_k}$ (avec k = nombre de paramètres comparés et W_k = principales notes attribuées aux paramètres);

Equation 2: $C_p = \frac{V_p}{V_{p1} + \dots + V_{pk}}$ (la somme des C_p de tous les paramètres d'une matrice doit être égale à 1)

2.3.4.4 DÉTERMINATION DE L'INDICE DE COHERENCE (IC)

Selon Thomas SAATY, la cohérence de notre démarche réside à la valeur de son indice de cohérence. La démarche est cohérente si IC < 10 %. Il paraît donc judicieux de déterminer l'indice de cohérence de chacune des matrices d'aléa et de vulnérabilité. Pour ce faire Nous avons multiplié chaque colonne des tableaux 6 et 7 par le coefficient de pondération lui correspondant et par la suite divisé chaque total de ligne par le poids du critère correspondant à cette ligne. Les Calculs intermédiaires pour la détermination de l'IC sont reportés dans les tableaux 8 et 9.

L'indice de cohérence est calculé par la formule suivante:

Equation 3: $IC = \frac{\lambda_{max} - \text{nombre de colonne}}{\text{nombre de colonne} - 1}$

Avec λ_{max}: La moyenne des résultats obtenus dans la colonne division des tableaux du calcul intermédiaire. Indice de cohérence (IC_i) de la matrice d'aléa.

Tableau 8. Calcul intermédiaire pour déterminer IC₁

	PT	TS	PL	IE	Somme	Division
PT	0,06	0,04	0,05	0,08	0,23	4,13
TS	0,17	0,12	0,09	0,11	0,48	4,10
PL	0,28	0,35	0,26	0,19	1,08	4,10
IE	0,39	0,59	0,79	0,56	2,33	4,13

$$\lambda_{max} = (4,13 + 4,10 + 4,10 + 4,13) / 4 = 4,12$$

L'indice de cohérence IC_1 est: $IC_1 = (4,12 - 4) / (4 - 1) = 3,90\% < 10\%$ par conséquent le raisonnement utilisé est cohérent.

Indice de cohérence (IC_2) de la matrice de vulnérabilité

Tableau 9. Calcul intermédiaire pour déterminer IC_2

	CV	DD	RP	Somme	Division
CV	0,10	0,09	0,13	0,32	3,04
DD	0,31	0,26	0,21	0,78	3,04
RP	0,52	0,77	0,64	1,94	3,04

$$\lambda_{max} = (3,04 + 3,04 + 3,04) / 3 = 3,04$$

L'indice de cohérence IC_2 est: $IC_2 = (3,04 - 3) / (3 - 1) = 1,93\% < 10\%$. Ce raisonnement est également cohérent.

CALCUL DU RATIO DE COHÉRENCE (RC)

Le résultat obtenu du calcul de l'indice de cohérence est validé par le ratio de cohérence (RC), défini par la formule $RC = IC/IA$, avec IC l'indice de cohérence et IA l'indice aléatoire. L'indice aléatoire est égal à 0,58 pour une matrice à trois critères et à 0,90 pour une matrice à quatre critères [22].

$$RC_1 = IC_1 / 0,90 = 4,33\% \text{ et } RC_2 = IC_2 / 0,58 = 3,33\%$$

RC_1 et RC_2 étant inférieur à 10%, nous pouvons donc dire que le raisonnement adopté est effectivement judicieux

2.3.5 CARTE DE L'ALEA

L'aléa est considéré comme un phénomène physique, naturel ou humain et non maîtrisable, potentiellement dommageable en termes de perte en vies humaines, matériel et de santé publique. Elle est susceptible d'interrompre les activités économiques, socio-culturelles et de détruire l'environnement ([22], [26]). Cet aléa est également appelé sensibilité, du fait de la mise en commun de plusieurs phénomènes naturels (végétation, hydrographie, relief, pluie, température etc.). La carte d'aléa à l'infection bilharzienne est une carte d'aléa biologique représentant des différentes zones d'infestation ou susceptible d'infestation bilharzienne. Dans le cadre de notre étude, les critères ou paramètres retenus sont: la pente, la température au sol, la pluviométrie et l'indice d'eau, Le croisement de ces paramètres, nous a permis d'établir la carte des zones potentiellement exposées à l'infestation à *S. mansoni* et *S. haematobium*. En se basant sur l'échelle de comparaison des critères de Saaty [23] différents « poids » ont été calculés et affectés à chaque critère pour déterminer l'aléa à l'infestation bilharzienne. La combinaison des différents critères affectés de leur poids ou coefficient de pondération s'est fait sous ArcGis10.2.2, grâce à l'outil « Raster Calculator » du module « Map Algebra ». La formule utilisée pour cette carte d'aléa est:

$$\text{Carte d'aléa} = [(0,06 \times PT) + (0,12 \times TS) + (0,26 \times PL) + (0,56 \times IE)]$$

2.3.6 CARTE DE VULNERABILITE

A la notion de vulnérabilité plusieurs définitions sont proposées. Mais dans l'étude du risque, la vulnérabilité correspond d'une part à une mesure de l'endommagement potentiel des biens, des personnes et des activités et de ses répercussions sur l'environnement économique. D'autre part la vulnérabilité peut être perçue à travers la capacité de réponse des sociétés à des crises potentielles Elle exprime également le niveau de conséquences prévisibles d'un phénomène naturel sur les enjeux ([22]). Ces enjeux intègrent les populations, les biens et les activités socioéconomiques susceptibles d'être affectés aussi bien quantitativement et qualitativement et varie suivant la nature de l'aléa. La vulnérabilité apparaît donc comme la propension d'une société à subir des dommages en cas de manifestation d'un phénomène naturel ou anthropique et leur capacité à répondre ou résilience.

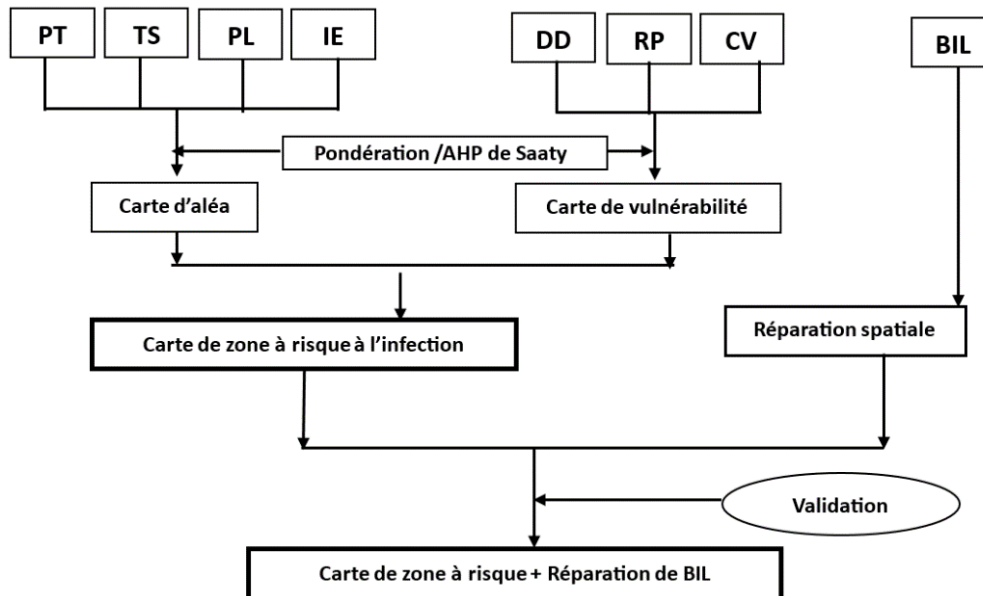
Dans cette étude, trois critères sont identifiés pour la cartographie de la vulnérabilité. La carte de la répartition la de population (RP) réalisée à partir des données de l'INS, la carte du couvert végétal (CV) réalisée par l'application de la formule du NDV à partir des images satellitaires choisies pour l'étude et la carte de densité de drainage (DD). A la pratique cette carte a été réalisée en affectant également des poids à chaque paramètre (Tableau 7) selon l'échelle de comparaison des critères de Saaty [23] et calculée grâce à l'outil précité.

L'équation entrée dans le logiciel est:

$$\text{Carte de vulnérabilité} = [(0,10 \times CV) + (0,26 \times DD) + (0,64 \times RP)]$$

2.3.7 CARTE DU RISQUE BILHARZIEN PAR COMBINAISON DES COUCHES

Le risque est défini selon Dominique [26] comme la probabilité pour les communautés ou les populations d'être exposées aux aléas et de subir des dommages d'ordre humains, économiques, socio-culturels; mais aussi la destruction de leurs biens et environnement. Le risque est donc la possibilité de survenance d'un dommage résultant d'une exposition aux effets d'un phénomène dangereux (Gala, 2007). La carte de risque bilharzien de la région de la marahoué a été faite selon l'équation du risque proposée par Pottier [27] et Dauphiné [28]: $\text{Risque} = \text{Aléa} \times \text{Vulnérabilité}$. Nous avons donc obtenu ces cartes de risque des deux années en faisant le produit des cartes d'aléa et de vulnérabilité sous l'outil « Raster Calculator » selon l'équation: $\text{Carte de risque} = [\text{Carte d'aléa} \times \text{Carte de vulnérabilité}]$

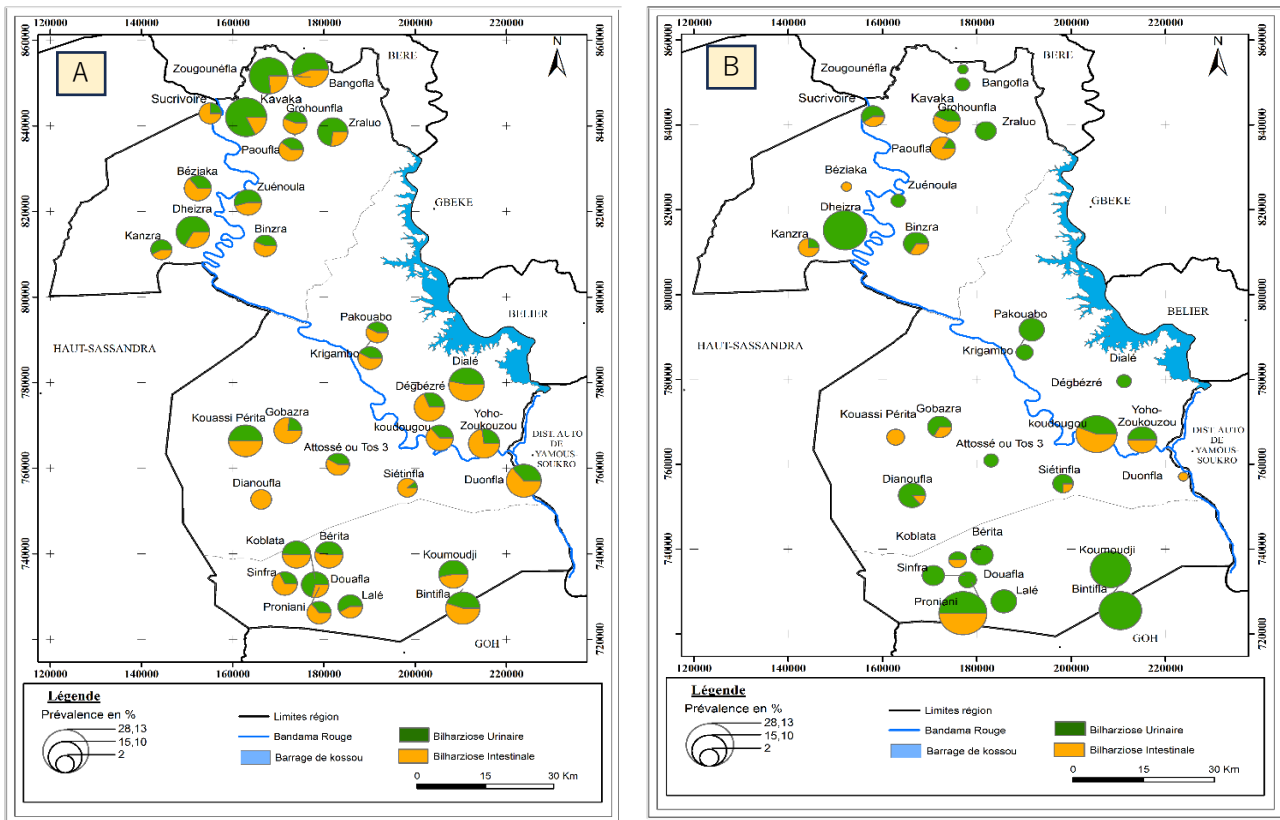


Méthodologie de traitement des données

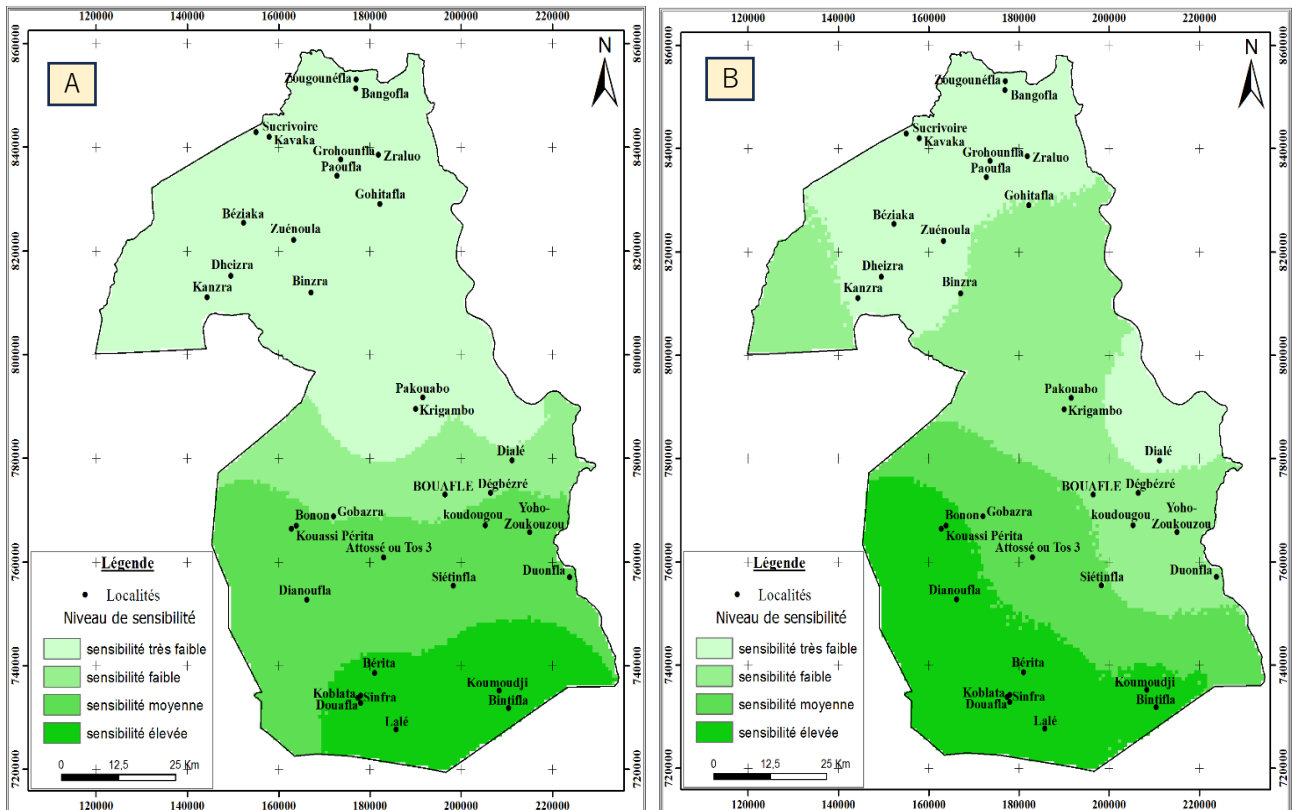
3 RESULTATS

3.1 REPARTITION DE LA PRESOMPTION BILHARZIENNE EN 2003 ET DE LA BILHARZIOSE AVEREE EN 2013

La figure ci-dessous présente la répartition de la présomption bilharzienne en 2003 (figure 2A) et la bilharziose avérée en 2013 par localité enquêtée (figure 2B). Aussi bien 2003 qu'en 2013, nous comptons au total 32 localités enquêtées. Douze (12) localités dans les départements de Zuénoula et de Bouaflé et 8 localités dans le département de Sinfra. Les mêmes localités ont été sélectionnées pour une meilleure analyse et interprétation du suivi de l'évolution de l'endémie. En 2003, les plus grandes valeurs de présomption de bilharziose urinaires sont signalées dans l'extrême Nord de la région. Par contre les valeurs plus élevées de présomption de bilharziose intestinale se localisent dans le Centre et en partie dans le Sud. En 2013, nous notons une prédominance de la bilharziose urinaire sur la bilharziose intestinale dans la région. A l'analyse des deux figures nous pouvons dire qu'en termes de présence et d'absence que la bilharziose urinaire est signalée dans la quasi-totalité des localités enquêtées aussi bien en 2003 qu'en 2013. Toutefois, les localités de Dégbézré, Duonfla, Kouassi Péríta, Béziaka et Sucrivoire, qui étaient endémiques en 2003 ne le sont pas en 2013. Par contre, la localité de Dianoufla non endémique en 2003 l'est en 2013. Ainsi, la bilharziose intestinale est en nette régression sur la quasi-totalité de la région de 2003 à 2013.



3.2 CARTES D'ALEA A L'INFECTION BILHARZIENNE EN 2003 ET 2013



La combinaison des différents paramètres (Pente, Température au sol, Pluviométrie, indice d'eau), nous a permis d'obtenir les cartes d'aléa à l'infection bilharzienne des années 2003 (figure 3A) et 2013 (figure 3B). Les figures ci-dessous (3A et 3B) mettent en évidence les degrés d'aléa de la région à l'infection bilharzienne. La partie Sud de la région présente un niveau d'aléa plus accru que la partie Nord. Le département de Sinfra demeure la zone la plus sensible et celui de Zuénoula le moins sensible.

3.3 CARTES DE VULNERABILITE A L'INFECTION BILHARZIENNE EN 2003 ET 2013

La combinaison des paramètres (Couvert végétal, densité de drainage et la répartition de la population), nous a permis d'élaborer les cartes de vulnérabilité à l'infection des deux années. Ainsi les figures 4A et 4B, nous présentent les différentes zones vulnérables à l'infection bilharzienne.

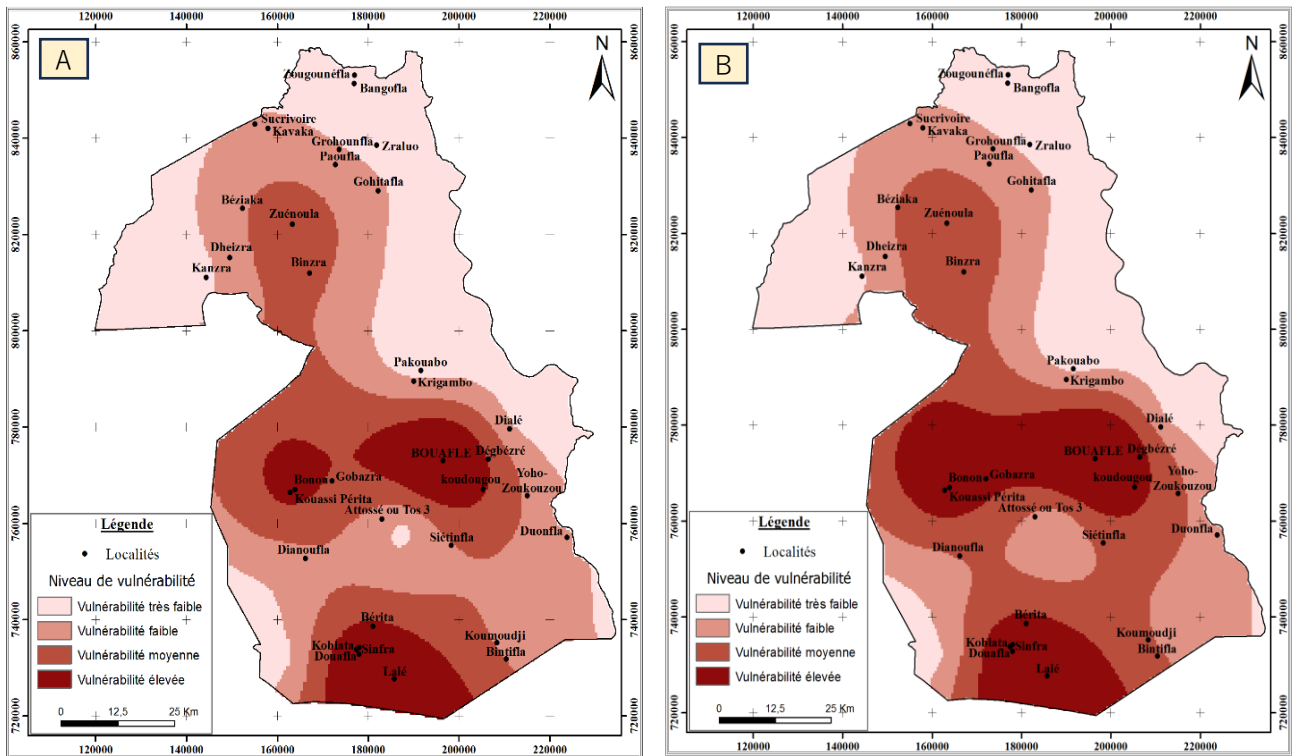


Fig. 4. Niveau de vulnérabilité à l'infection bilharzienne en 2003 et 2013

Les degrés de vulnérabilités les plus élevés sur l'ensemble des deux figures (4A et 4B) se concentrent autour des localités de Bonon, Bouaflé et de Sinfra. Ces trois localités sont toutes situées dans la partie Sud de la région. Ainsi nous pouvons dire que la partie Sud de la région présente une vulnérabilité plus importante que la partie nord. Cette vulnérabilité est liée aux enjeux de la région beaucoup plus concentrés dans cette partie de la région. Seules les localités de Binzra, de Zuénoula et de Béziaka, dans la partie Nord sont exposées à une vulnérabilité moyenne.

3.4 CARTES DE RISQUE A L'INFECTION BILHARZIENNE EN 2003 ET 2013

La carte de risque, enjeux de notre étude découle de la combinaison de deux couches. Celle d'aléa et la vulnérabilité. Le risque à l'infection bilharzienne de la région de la Marahoué est plus élevé dans les localités à forte concentration de population et de pluviométrie (Bonon, Sinfra, Bouaflé et Zuénoula) et dans les localités avoisinantes (figure 5A et 5B). L'extrême Nord, le Nord-Ouest, l'Est et le Nord-Est sont les zones à très faible risque de contamination.

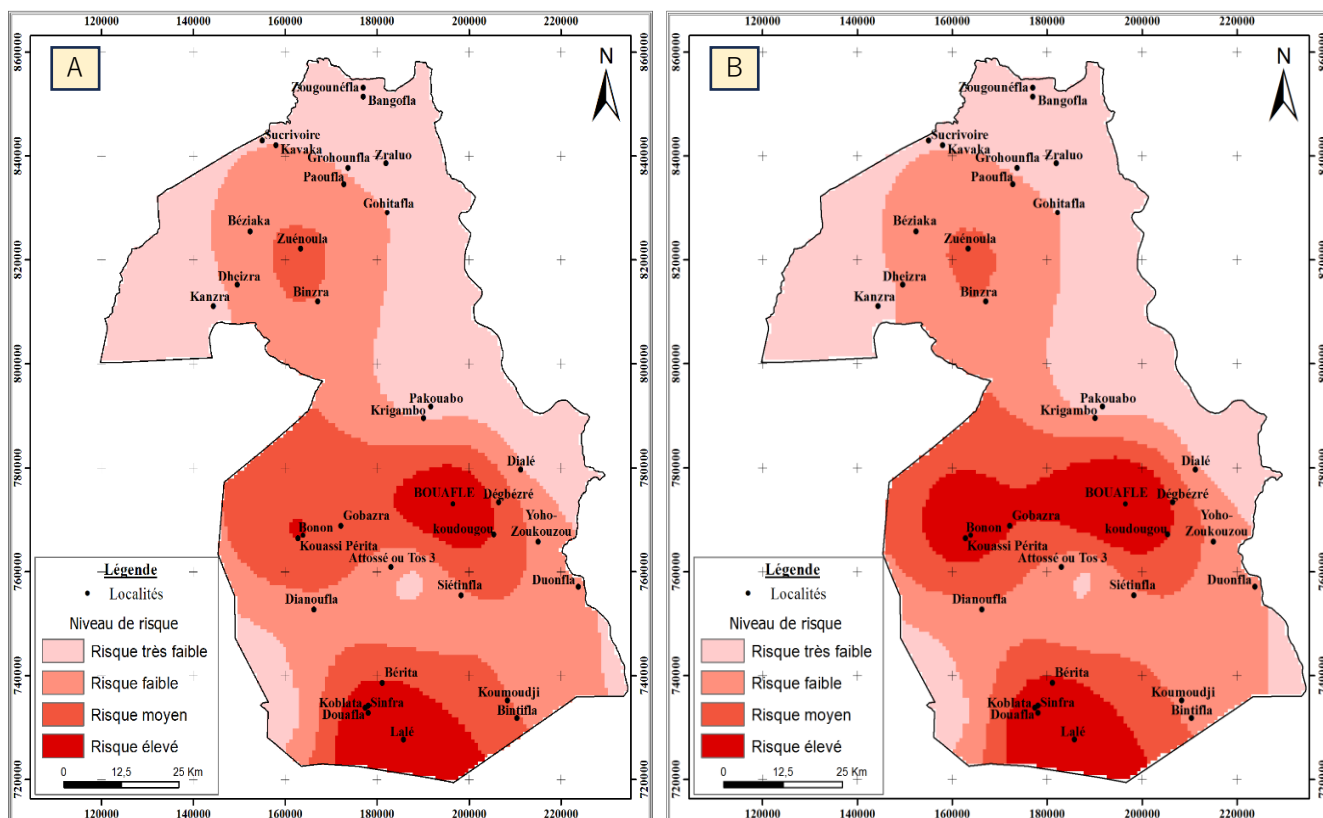


Fig. 5. Niveau de risque à l'infection bilharzienne en 2003 et 2013

A l'analyse des critères caractéristiques de la vulnérabilité et la sensibilité, la pluviométrie et la répartition de la population apparaissent comme les deux paramètres les plus influents du risque bilharzien en 2003 et 2013.

3.5 VALIDATION DES RESULTATS

La superposition des cartes de prévalence par localités enquêtées et des zones à risque des années 2003 et 2013 des cas notifiés de bilharziose urinaire et intestinale a permis de valider les résultats. Le dénombrement statistique des cas observés dans les zones à risque est retracé dans le tableau ci-dessous (tableau 10).

Tableau 10. Statistique des cas incidents de Bilharziose dans les localités enquêtées.

	Sinfra (8 localités)		Bouafilé (12 localités)		Zuénoula (12 localités)		Total (32 localités)	
	Nbre	%	Nbre	%	Nbre	%	Nbre	%
Nombre de localités dans la zone à risque élevée et risque moyen	8	100	4	33,33	1	8,33	13	40,62
Nombre de localités dans la zone à risque faible et risque très faible	0	0	8	66,67	11	91,67	19	59,38

En somme, sur les 32 localités enquêtées dans la région 13 se situent dans la zone à risque élevé et risque moyen, soit 40,62 % contre 19 localités dans la zone à risque faible et très faible soit 59,38 %.

Selon les études menées par Vami [29] le département de Sinfra est une zone sujette au risque d'inondation due au débordement des cours d'eaux vues la morphologie et l'hydrographique de la zone. Ainsi la grande présence d'eau dans cette partie de la région de la Marahoué justifie sa grande endémicité. Le département de Bouafilé chef-lieu de région, abrite la population la plus importante de la région [10]. Ce département est fortement marqué par le barrage de Kossou dans sa partie Est et drainé dans sa partie Centrale par le fleuve Marahoué.

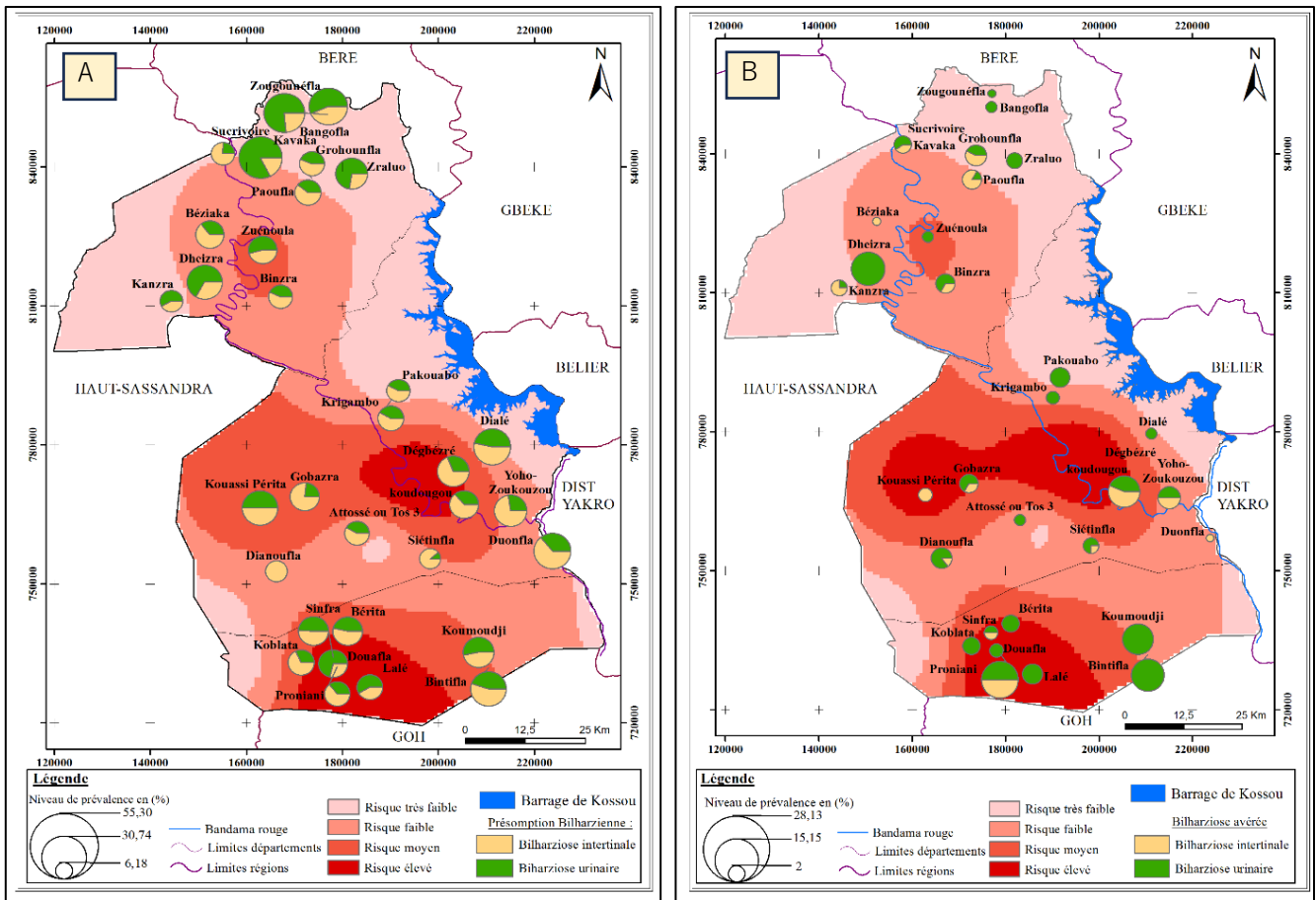


Fig. 6. Niveau de risque et de prévalence de la bilharziose en 2003 et 2013

4 DISCUSSION

Les résultats de ces enquêtes laissent entrevoir en 2003 une prédominance de présence de présomption de bilharziose intestinale estimée à 62,50 % contre 37,5 % de présomption de bilharziose urinaire. En 2013 nous avons une prédominance de présence de la bilharziose urinaire estimée à 81,25 % contre 18,75 % de bilharziose intestinale. Nos dires sur la prédominance de bilharziose urinaire en 2013 dans la région de la Marahoué sont corroborées par les travaux de Kouamé [3] effectués dans la région de l’Agnéby dont le taux de succès de présence de bilharziose urinaire est de 56,82 %. L’étude faite par Sangho [30] pour la détermination de la prévalence et perception de la schistosomose en zone de riziculture irriguée au Mali a révélé une forte présence de la schistosomose uro-génitale avec un taux de prévalence de 72% dans les écoles primaires de Molodo. Cette forte prévalence trouverait selon Sangho explication par la présence des canaux d’irrigation alimentés à partir du barrage de Markala. Cette assertion confirme nos appréhensions sur l’origine de la forte présence de la bilharziose dans la région de la Marahoué qui se présente comme une région avec un réseau hydrographique important. Poda [31] mentionne comme conclusion des travaux sur l’endémie bilharzienne au Burkina Faso, une évolution des prévalences de la bilharziose urinaire allant de 19 % en 1954 à 23 % en 1987 et à 70,3 % à Giédougou après la mise en place des aménagements hydroagricoles à partir de 1967 à Sourou. Les paramètres utilisés pour cartographier le risque à l’infection à bilharzienne sont des paramètres étroitement liés à l’environnement et à la démographie. Ces différents paramètres ont été également utilisés par certains auteurs ayant abordé la même thématique. Il s’agit de:

- Kouamé [3] pour générer des cartes prédictives de risque de l’infection bilharzienne et géohelminthiase dans la région de l’Agnéby;
- Ramanantsizehena [32] pour étudier le problème de la bilharziose à *Schistosoma mansoni* dans la sous-préfecture de Manandriana en Madagascar par télédétection et Système Information Géographique;
- Bavia [33] pour évaluer le risque de schistosomiase à Bahia (Brésil) par l’utilisation des données thermiques et d’indice de végétation de la terre par observation satellitaire.

Les différents paramètres environnementaux utilisés pour caractériser la sensibilité et la vulnérabilité à l’infection l’ont été aux moyens d’imageries satellitaires. Les meilleures images obtenues sont celles des périodes sèches de l’année où la couverture nuageuse est quasi nulle. Ainsi, le ciblage des périodes constitue une limite à une meilleure observation du paysage le long des années choisies pour l’étude.

5 CONCLUSION

Au terme de cette étude nous pouvons dire que la région de la Marahoué est une région à risque de contamination bilharzienne. La combinaison des différents paramètres conformément à l'écologie des hôtes intermédiaires et au mode de transmission de la pathologie nous ont permis d'identifier les potentiels zones de risque de contamination. Ces zones se concentrent autour des grandes localités de la région à savoir Bouaflé, Sinfra, Zuénoula et Bonon. Sur ces deux années d'étude, nous constatons un accroissement du risque de contamination surtout dans sa partie centrale autour de Bouaflé et Bonon. Les présomptions prévalences et les prévalences avérées enregistrées nous donnent au total 13 localités dans la zone à risque élevé et moyenne élevé soit 40,62 % contre 19 localités en zone de faible et très faible risque de contamination soit 59,38 %. Par contre nous ne pouvons véritablement spéculer sur la régression ou l'évolution du niveau de prévalence sur ces deux années.

REFERENCES

- [1] PIERRE A. et GAÜZERE B. A. (2012). Les maladies liées à l'eau. *Médecine tropicale, Actualité 2012*, n°71, 7 p.
- [2] SCIANCALEPORE S. (2003). Les maladies hydriques. *RGS/AGC/SS. Revue de presse thématique*, N° 27, 4 p.
- [3] KOUAME A.K.D. (2010). Facteurs de répartition et essai de modélisation des bilharzioses et des géohelminthiases par des techniques de télédétection et système d'information géographique pour un développement durable dans la région de l'Agnéby. Thèse de doctorat unique, Université Felix HOUPOUËT BOIGNY d'Abidjan, 144 p.
- [4] BIOMNIS (2012). Bilharziose. Précis de biopathologie, *Analyses médicales spécialisées*, 3 p.
- [5] ANOFEL (2014). Bilharzioses. Université Médicale Virtuelle Francophone, 25 p.
- [6] N'GUESSAN A.N., GARBA A., ORSOT N. M., et N'GORAN K. E. (2014). Evaluation de la morbidité échographique de la bilharziose urinaire chez les écoliers de 6 localités autour du barrage de Taabo (Côte d'Ivoire). *International Journal of Innovation and Applied Studies ISSN 2028-9324 Vol.9 No.1, Nov. 2014*, pp. 307-316.
- [7] KOUAKOU L. (2007). La lutte contre les schistosomoses en Afrique de l'Ouest: Situation des schistosomoses en Côte d'Ivoire. Communications présentées à l'atelier sur les difficultés rencontrées dans la mise en œuvre des programmes de lutte contre les schistosomes en Afrique de l'Ouest, Niamey-cerme, 15-18 février 2000, Edition IRD (Institut de Recherche pour le Développement), collection colloques et séminaires, Paris, 2000, pp. 197-204.
- [8] CECCHI P., BALDE S., et YAPI Y. G. (2007). Mollusques hôtes intermédiaires de bilharzioses dans les petits barrages. In: CECCHI P. (ED.), LEVEQUE C. (PREF.), AUBERTIN C. (PREF.). *L'eau en partage: les petits barrages de Côte d'Ivoire*. Paris: IRD, 2007, pp. 175-189. (Latitudes 23). ISBN 978-2-7099-1615-8.
- [9] OMS-WHO, (1987). Programme des maladies parasitaires: Atlas de la répartition global des schistosomiasis: Côte d'Ivoire. CEGET-CNRS, pp.107-113.
- [10] RGPH. (2014). Résultats globaux. Secrétariat Technique Permanent du Comité Technique du RGPH, 29/11/2014, 26 p.
- [11] PLOUVIER S., LEROY J. C. et COLETTE J., (1975). A propos d'une technique simple de filtration des urines dans le diagnostic de la bilharziose urinaire en enquête de masse. *Méd. Trop.*, 35, pp. 229-230.
- [12] KATZ N., CHAVES A. et PELLEGRINO J. (1972). A simple device for quantitative stool thick-smear technique in Schistosomiasis mansoni. *Revista do Instituto Medicina Tropical de Sao Paulo*, 14, pp. 397-400.
- [13] OMS (2008). Chimio-prévention des helminthiases chez l'homme: utilisation coordonnée des médicaments anthelminthiques pour les interventions de lutte: manuel à l'intention des professionnels de la santé et des administrateurs de programmes. Organisation mondiale de la Santé, Genève, Suisse, 74 p.
- [14] PODA, J. N., (2007). Les maladies liées à l'eau dans le bassin de la Volta: état des lieux et perspectives. Volta Basin Focal Project Report No 4. IRD, Montpellier, France, and CPWF, Colombo, Sri Lanka, 87 p.
- [15] NGONSEU E., GREER G.J. et MIMPFOUNDIR R. (1992). Dynamique des populations et infestation des *Bulinus truncatus* et *Bulinus forskali* en zone soudano-sahélienne au Cameroun. *Ann Soc Belg Med Trop*, 1992, 72. pp. 311-330.
- [16] DIAW O.T., SEYE M. et SARR Y. (1989). Résistance à la sécheresse de mollusques du genre *Bulinus* vecteurs de trématodoses humaines et animales au Sénégal. I. Essais en laboratoire. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux - Vol. 2 - n°1 - 1989*. pp. 289-291.
- [17] FERANDEL L. (2001). La bilharziose urinaire dans le monde aspect épidémiologique. Thèse de doctorat. Université Henri Poincaré - Nancy 1, 113 p.
- [18] NESRINE C. (2015). Techniques d'observation et méthodes d'analyse pour la gestion de l'eau dans les bassins versants agricoles méditerranéens: Méthodes de classification pour la cartographie de l'occupation du sol. École d'hiver, INAT, Tunisie du 2 au 6/03/2015, 62 p.
- [19] BARTHOLOMÉ E. (1997). Le graphique « binormalisé»: un outil d'étalonnage des indices de végétation- application aux cultures sahéennes. *Télédétection et cartographie*. Éd. AUPELF-UREF. Les Presses de l'Université du Québec, 1993, p. 187-201.
- [20] DJUIKWO N.F.F. (2011). *Bulinus globosus* et *B. truncatus* (Gastropoda: Planorbidae): variabilité génétique et implications dans la transmission de *Schistosoma haematobium* au Cameroun. Thèse de doctorat préparée en cotutelle. Université de Limoges/Université Yaoundé-Cameroun. 120 p.

- [21] SARR A., KINZELBACH R. et DIOUF M. (2011). Diversité spécifique et écologie des mollusques continentaux de la basse vallée du Ferlo (Sénégal). *Malaco* (2011) 7, pp. 383-390.
- [22] SALEY M. B., DANUMAH J. H., KANOHIN F., EPSE O., SOROKOBY V. M., ATCHEREMI D., DENEAN S. P., KOUAME F. K. et DJAGOUE V. E. (2013). Méthodologie pour la cartographie des zones vulnérables à l'inondation par système d'information géographique et analyse multicritère: application au bassin versant de la Davo à Sassandra (sud-ouest de la Côte d'Ivoire). *Africa Geoscience Review*, Vol. 20, No.1, 2, pp. 21-34.
- [23] SAATY, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority setting, Resource allocation*. Mc Graw-Hill, New York, 287 p.
- [24] SALEY M.B. (2003). *Système d'Information Hydrogéologique à Référence Spatiale, discontinuités pseudo images et cartographie thématique des ressources en eau de la région semi-montagneuse de Man (Ouest de la Côte d'Ivoire)*. Thèse de doctorat, Université de Cocody, Abidjan, 211 p.
- [25] LOUGA G. R. (2014). *Cartographie des facteurs environnementaux gouvernant la prolifération des vecteurs du paludisme et le risque de transmission associée dans les localités de Bonoua et d'Ayamé (Côte d'Ivoire)*. Mémoire de Master de Recherche, Université Félix HOUPHOUËT BOIGNY d'Abidjan-Cocody, 64 p.
- [26] DONIMIQUE K. (2011). *Concept d'aléa, de vulnérabilité, de risque et de catastrophe*. 15e Ecole d'été en évaluation environnementale, Douala-Cameroun, 04-09/09/2011. 14 p.
- [27] POTTIER N. (1998). *L'utilisation des outils juridiques de prévention des risques d'inondation: évaluation des effets sur l'homme et l'occupation des sols dans les plaines alluviales (application à la Saône et à la Marne)*. Thèse de Doctorat de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, Spécialité Sciences et Techniques de l'Environnement, 582 p.
- [28] DAUPHINÉ A. (2001). *Risques et catastrophes: Observer, spatialiser, comprendre, gérer*. Edit. Armand COLIN, Paris, 287 p.
- [29] VAMI H. N. B., SALEY B., SOULEYE W., DJAGOUE E. V., KOUAME F. et AFFIAN K. (2014). *Cartographie du risque d'inondation par une approche couplée de la télédétection et des systèmes d'informations géographiques (SIG) dans le département de Sinfra (centre-ouest de la Côte d'Ivoire)*. *European Scientific Journal* January 2014 edition vol.10, No.2 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e – ISSN, pp.1857- 7431.
- [30] SANGHO H., DABO A.; SANGHO O., DIAWARA A., DOUMBO O. (2005). *Prévalence et perception de la schistosomose en zone de riziculture irriguée au Mali*. *Mali Médical* (2005), T XX, N° 3, pp. 15-20.
- [31] PODA J. N., TRAORE A., SONDO B. K. (2004). *L'endémie bilharzienne au Burkina Faso*. *Bull Soc Pathol Exot*, 2004, Vol. 97, N°1, pp. 47-52.
- [32] RAMANANTSIHENA P. et RAMIRANIRINA B. (2004). *Les risques sanitaires: Epidémiologie, Système d'Information Géographique et Télédétection: le cas de la bilharziose à Schistosoma mansoni dans la sous-préfecture de Manandriana, Madagascar*. Xèmes Journées Scientifiques du Réseau Télédétection de l'AUF, Géorisques et télédétection Ottawa, Canada 24 - 29 mai 2004, pp. 125-135.
- [33] BAVIA M.E., MALONE J.B., HALE L., DANTAS A., MARRONI L., 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*, 79 (2001), pp. 79–85.