

Contribution de la Géomatique à la cartographie du risque Schistosomien par analyse multicritère dans le District Autonome de Yamoussoukro et la région du Bélier. (Centre de Côte d'Ivoire)

Gnahoua Guy-Roger Gnazalé⁽¹⁾ ; Aya Nicaise N'guessan Née Okoubo⁽²⁾;
Adonis Krou Damien Kouamé⁽¹⁾; Eric Valère Djangoua⁽¹⁾; Derving Baka⁽³⁾

1 : Centre universitaire de recherche et d'application en télédétection (CURAT). Université F. H. Boigny, Abidjan, Cocody

2 : Laboratoire de Zoologie et Biologie Animale, Université Félix Houphouët - Boigny, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

3 : UFR des Sciences de la Terre et de la Recherche Minière (STRM). Université F. H. Boigny, Abidjan, Cocody
Corresponding Author: Gnahoua Guy-Roger Gnazalé

Abstract: The third schistosome-endemic region, the Bélier region and the district of Yamoussoukro, recorded 667 cases of *Schistosoma haematobium* schistosome infection in 2007. The purpose of this article is to map the spatial distribution of infection cases recorded in 2017 and to identify areas at risk of infection. This study relies on multi-criteria analysis according to the Saaty hierarchical analysis process by weighting the different parameters of hazard and vulnerability. It is based on the integration into a geographic information system (GIS), climate, environmental, demographic and satellite imagery. The vectorization of the matrix result of the risk zones made it possible to determine the area occupied by each level of risk and to make the correspondence between these zones and the cases of infection recorded in the field. 1523 km² of the area of interest is in high risk zone and represents 17% of the total area. 74 affected people are in this zone and 38 in moderate risk zone are respectively 39 and 20% of the total number of infected

Keywords: Geomatics, mapping, schistosomiasis risk, Yamoussoukro District, Bélier region.

Date of Submission: 01-05-2019

Date of acceptance: 13-05-2019

I. Introduction

La schistosomiase ou schistosomose encore appelée couramment bilharziose est une Maladie Tropicale Négligée (MTN) eau-dépendante endémique aux régions tropicales et intertropicales. Elle est due à des vers plats à sexes séparés appelés bilharzies ou schistosomes [1], [2], [3]. Cette affection parasitaire est répandue dans le monde entier et sévit particulièrement en Afrique, en Amérique du Sud, au Moyen-Orient et au Sud du continent asiatique [3]; [4]. La bilharziose affecte plus de 200 millions de personnes en zone rurale ou périurbaine dont 120 millions présentent les symptômes de la maladie et 20 millions doivent faire face aux conséquences graves [5]. Dans de nombreuses régions, une grande proportion d'enfants de moins de 14 ans sont infectés. Plusieurs études menées sur le territoire ivoirien font état de la présence de cette parasitose dans plusieurs localités du pays [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13]. Les résultats d'enquêtes parasitologiques menées dans le District Autonome de Yamoussoukro et dans région du Bélier pour l'identification des zones à haut risque de contamination font état de la présence de la schistosomiase à *Schistosoma haematobium* ou bilharziose urinaire dans les départements de cette région. Le taux de prévalence enregistré dans cette partie de la Côte d'Ivoire est estimée à 15 % et fait de cette région la troisième région d'endémie aux bilharzioses derrière celles de l'Agnéby (30,8 %) et de la Marahoué (19,9 %) [11]. En effet, les conditions environnementales et climatiques de cette zone seraient les principaux facteurs de prolifération de cette parasitose dont la survie est fortement liée non seulement aux conditions hygiéniques mais aussi aux conditions hydriques et environnementales auxquelles font face les populations riveraines et surtout à la présence d'hôtes intermédiaires (*Biomphalaria*, *Bulinus*). Le but de cet article est de déterminer les zones à risque de contamination et de réaliser la cartographie de la répartition spatiale des cas d'infections enregistrées en 2017.

II. Données, Matériels et Methodologies

II.1. Cadre géographique

La région du Bélier et le District Autonome de Yamoussoukro anciennement appelés région des Lacs sont situés au centre de la Côte d'Ivoire (figure 1). Précisément entre le 6°24'00'' et le 7°24'15'' de latitude Nord et le 4°33'00'' et le 5°33'30'' de longitude Ouest. Le District Autonome de Yamoussoukro est une entité territoriale particulière dotée d'une personnalité morale et à autonomie financière couvrant une superficie de 3500 kilomètres carrés. La région du Bélier a une superficie de 5 344 km², soit 2,08 % du territoire national et fait partie intégrante du « V Baoulé ».



Fig.1: Situation géographique de la zone d'étude.

II.2. Données et matériels utilisés

Six (6) types de données ont été utilisées pour la réalisation de ce travail. Il s'agit d'images du radiomètre multi-spectral OLI (Operational Land Imager) de Landsat 8 de 2017 correspond aux scènes 197/55 ; 196/55 et 196/56 selon le site de l'USGS, d'un modèle numérique de terrain du satellite Terra de l'agence spatiale américaine (NASA), d'une résolution de 30 m, d'un fond de carte du District Autonome de Yamoussoukro et la région du Bélier obtenu par géo-référencement et digitalisation de la carte du nouveau découpage administratif de la Côte d'Ivoire réalisée à l'échelle 1/ 800 000 ; de données de précipitation et de température de la région fournies par la Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique (SODEXAM) ; de données démographiques de la région du dernier recensement général de la population et de l'habitat effectué par l'Institut Nationale de la Statistique (INS) en 2014 et des données de cas incidents de schistosomiase à *schistosoma haematobium* du District Sanitaire du Bélier. Les données de schistosomiase, sont des données désagrégées par centres hospitaliers.

Le matériel utilisé pour la collecte, le traitement, l'archivage, l'affichage et la réalisation des cartes de sensibilité, de vulnérabilité et de risque bilharzien se compose pour l'essentiel d'un GPS (Global Positioning Système) Garmin GPSMAP 64 et de logiciels de traitement d'images satellitaires et de cartographies (ENVI 5.1 et ArcGis 10.3).

II.3. Méthodologie

Cartographie de la répartition de bilharziose urinaire par implantation ponctuelle.

La carte de répartition spatiale par implantation ponctuelle est une carte d'analyse (carte analytique) et correspond à une carte thématique. Elle permet de représenter la répartition d'un phénomène donné dans le but de préciser ses rapports avec l'espace géographique [14].

II.3.1. Cartographie des paramètres climatiques

- Cartographie de la pluviométrie

La pluviométrie reste un facteur indispensable à la survie des mollusques hôtes intermédiaires de la bilharziose. L'écologie de ces mollusques est liée à l'humidité du sol or le sol ne peut être humide que si ce sol est périodiquement arrosé par des pluies. La plupart des études malacologiques qui ont été faites, l'ont été pour plusieurs en saison de pluie qu'en saison sèche [15].

- Cartographie de la température

L'infection bilharzienne ne s'effectue qu'à une certaine température. Les cercaires n'émergent des mollusques qu'aux heures chaudes de la journée, en général entre 10 h et 16 h en pays tropical [16]. La température optimale à l'infection des bulins est de 20 à 30°C. Cette fourchette de température est celle de notre zone d'étude où les relevés de température peuvent atteindre les 30°C.

II.3.2. Cartographie des paramètres environnementaux

- Cartographie du couvert végétal (NDVI)

L'indice de végétation normalisée permet de déceler les zones couvertes de végétation entre autres les zones d'activités agricoles, les zones de bâtis et les zones dépourvues de végétation (sol nu). Les formations végétales ont des valeurs de NDVI positives, généralement comprises entre 0,1 et 0,7. Pour les sols nus, les réflectances étant à peu près du même ordre de grandeur dans le rouge que dans le proche infrarouge, le NDVI présente des valeurs proches de 0. Il permet d'avoir un aperçu de l'occupation du sol. Il est généré directement sous le logiciel ENVI 5.1 grâce au module « Transform » et sous le logiciel ArcGis 10.3.1 grâce au module « Image Analysis ».

- Cartographie de l'indice d'humidité

L'indice d'humidité ou humidité de surface est un indice qui permet de déterminer les zones à forte probabilité de présence d'humidité dans une zone donnée. L'humidité pouvant être consécutif à la présence d'eau, son calcul permet de déceler tous les lieux humides de notre zone d'étude parfois masqués par la végétation sur nos images satellitaires et éloignés des voies de communication donc souvent méconnus [12]. Le *B. globosus* est surtout rencontré dans les savanes et les forêts très humides, dans les lacs, les étangs de grande ou petite taille, les rivières et les fossés d'irrigation. L'indice d'humidité est calculé directement dans le logiciel ENVI 5.1 par le module Transform Tasseled Cap. L'on a, pour se faire, utilisé les bandes 2,3,4,5,6 et 7 correspondant respectivement au Bleu, au Vert, au Rouge, au proche infra-rouge (PIR) et le moyen infra-Rouge 1 et 2 (MIR1, MIR2). Il correspond à la bande du Tasseled Cap dénommée "wetness index".

- Cartographie du relief : calcul des pentes

La pente détermine le sens d'écoulement des cours d'eau. L'écoulement des eaux de surface se fait des hautes altitudes vers les basses altitudes. La pente est donc un paramètre déterminant dans la distribution spatiale des bilharzioses. La carte des pentes permet d'apprécier la distribution spatiale des mollusques mais aussi de l'infection et même les activités agricoles. La carte de pente a été générée à partir du Modèle Numérique de terrain (MNT) de la région et grâce à l'outil « Slope » du module « surface » d'ArcGis 10.2.2.

- Cartographie de la densité de drainage

La carte de densité de drainage est obtenue à partir du réseau hydrographique. Le réseau demeure un élément indispensable dans le cycle de transmission de la bilharziose. La densité de drainage est obtenue à partir de 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.

II.3.3. Cartographie des paramètres liés à la démographie

- Cartographie de la densité de population

L'homme est l'hôte définitif dans le cycle de transmission de la bilharziose. C'est dans le corps ou organisme de l'infecté que la furocercaire ou cercaire devient successivement des schistosomules puis des schistosomes capables de procréer. Il ne peut y avoir 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 [17].

- Cartographie de la distance aux points d'eau

La distance aux points d'eau est un facteur déterminant dans l'occurrence de la maladie car la bilharziose est une pandémie qui se propage par foyer. Les lieux de contamination se situent au niveau des points d'eau car les êtres humains contractent la maladie par leurs contacts répétés avec une eau douce contaminée lorsqu'ils se livrent à l'agriculture, à la pêche, à des activités ménagères telles que la lessive ou la vaisselle faites directement dans ces cours d'eau ou encore lorsqu'ils s'y baignent et nagent [18].

II.4. Paramètres liés à l'aléa ou à la sensibilité

L'aléa est considéré comme un phénomène physique, naturel ou humain et non maîtrisable, potentiellement dommageable en terme de perte en vies humaines, de matériel et de santé publique. Elle est susceptible d'interrompre les activités économiques, socio-culturelles et de détruire l'environnement [19], [20]. Cet aléa est également appelée sensibilité, du fait de la mise en commun de plusieurs phénomènes naturels (hydrographie, relief, pluie, température etc.). La carte de sensibilité à l'infection bilharzienne est une carte d'aléa biologique représentant les différentes zones d'infestation ou susceptible d'infestation bilharzienne. Les paramètres liés à l'aléa ou à la sensibilité de l'infection sont pour la plupart des paramètres hydrographiques, climatiques et liés à la géomorphologie de la région. Il s'agit de la pluviométrie, de la température, de l'indice d'humidité, de la densité de drainage et de l'intensité de pente.

II.5. Paramètres liés à la vulnérabilité

A la notion de vulnérabilité plusieurs définitions sont proposées. Dans l'étude du risque, la vulnérabilité correspond d'une part à une mesure d'endommagement potentiel des biens, des personnes, 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 [21]. Elle exprime également le niveau de conséquences prévisibles d'un phénomène naturel sur les enjeux [19]. Ces enjeux intègrent les populations, les biens et les activités socioéconomiques susceptibles d'être affectés aussi bien quantitativement et qualitativement. 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. Les paramètres liés à la vulnérabilité de l'infection sont : la densité de population, le couvert végétal et la distance aux points d'eau.

II.6. Modélisation spatiale du risque par analyse multicritères

La modélisation est la conception d'un modèle. C'est la matérialisation de la réalité, le plus souvent conçue pour faciliter l'étude d'un phénomène [22]. L'analyse multicritère (AMC) est un outil d'aide à la décision permettant d'effectuer en groupe un choix en fonction des critères préalablement définis. Elle a pour objet, selon Conchita [23], de soutenir les prises de décisions dans des contextes de résolution de problèmes ou de choix complexes. Le risque est défini selon Dominique [20] 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 leur environnement.

II.6.1. Classification des paramètres du risque bilharzien

Chaque paramètre lié au risque bilharzien est subdivisé en classes d'intensité (Tableau I). Il s'agit de quatre intervalles d'intensité retraçant la teneur du paramètre dans chaque intervalle.

Tableau I: Classification des paramètres par degré d'intensité de risque

	Très faible	Faible	Moyen	Elevé
Densité de drainage	0 - 20	20 - 40	40 - 60	60 - 110
Indice d'humidité	0 - 51	51 - 110	110 - 179	179 - 255
Pluviométrie	0 - 630	630 - 846	846 - 992	992 - 1330
Température au sol	26,9 - 27,3	27,3 - 27,6	27,6 - 27,8	27,8 - 28,3
Pente	0 - 0,8	0,8 - 2	2 - 5	5 - 14
Couvert végétal (NDVI)	-0,32 - 0,20	0,20 - 0,42	0,42 - 0,60	0,60 - 0,89
Densité de la population	< 46	46 - 63	63 - 77	77 - 245
Distance aux points d'eau	4000 - 8500	2000 - 4000	5000 - 2000	0 - 500

II.6.2. Méthode d'analyse Hiérarchique de Saaty (AHP)

La classification des paramètres est basée sur l'échelle de Saaty [24] pour la comparaison des critères [19]. Cette classification est faite selon la méthode AHP (Analytic Hierarchy Process) proposée par Saaty [24]. Cette classification a permis d'attribuer à chaque critère ou paramètre une valeur propre (VP) témoignant de son degré d'implication ou d'importance.

- Combinaison et détermination des facteurs d'aléa et de vulnérabilités

Les critères retenus ont été combinés et scindés en deux facteurs majeurs du risque que sont l'aléa indiquée par Tableau II et la vulnérabilité que montre Tableau III. Pour chaque paramètre, des symboles sont définis.

Tableau II: Indicateurs de sensibilité ou d'aléa à l'infection.

Indicateurs	Paramètres	Symboles
Hydrographie	Indice d'Humidité	IH
	Densité de drainage	DD
	Pluviométrie (mm)	PL
Climat	Température au sol (°C)	TS
	Pente	PT

Tableau III: Indicateurs de vulnérabilité à l'infection.

Indicateurs	Paramètres	Symboles
Paysage	Couvert végétal (NDVI)	CV
	Distance aux points d'eau	DE
Organisation de l'espace	Densité de la population	DP

- Élaboration des matrices et détermination des poids (Cp)

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

Equation 1 : $V_p = \sqrt[k]{W_1x \dots \dots \dots x W_k}$ (avec k = nombre de paramètres comparés et W_k = principales notes attribuées aux paramètres) ;

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

Les résultats obtenus des différents calculs sont confinés dans les tableaux IV et V

Tableau IV: Matrice d'aléa ou de sensibilité à l'infection.

	PT	TS	PL	DD	DE	V _p	C _p
PT	1	0,33	0,20	0,14	0,11	0,25	0,03
TS	3	1	0,33	0,20	0,14	0,49	0,06
PL	5	3	1	0,33	0,20	1,00	0,13
IH	7	5	3,00	1	0,33	2,04	0,26
DD	9	7	5	3	1	3,94	0,51
SOMME	25	16,33	9,53	4,68	1,79	7,72	1

Tableau V: Matrice de vulnérabilité à l'infection

	CV	IH	DP	V _p	C _p
CV	1	0,33	0,14	0,36	0,08
DE	3	1	0,20	0,84	0,19
DP	7	5	1	3,27	0,73
SOMME	11	6,33	1,34	4,48	1

- Détermination de l'indice de cohérence (IC)

Selon Thomas SAATY, la cohérence de la démarche réside à la valeur de son indice de cohérence. La démarche est cohérente si IC < 10 %. L'indice de cohérence est calculé par la formule suivante :

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

L'indice de cohérence IC₁ de la matrice d'aléa est : $IC_1 = (5,24 - 5) / (5 - 1) = 5,95\% < 10\%$ par conséquent le raisonnement utilisé est cohérent.

L'indice de cohérence IC₂ de la matrice de vulnérabilité est : $IC_2 = (3,06 - 3) / (3 - 1) = 3,24\% < 10\%$. Ce raisonnement est également cohérent.

- Carte de sensibilité ou d'aléa à l'infection

La combinaison des différents critères affectés de leur poids ou coefficient de pondération s'est fait sous ArcGis10.3, grâce à l'outil « Raster Calculator » du module « Map Algebra ». La formule utilisée pour cette carte de sensibilité est : **Carte de sensibilité = [(0,03 x PT) + (0,06 x TS) + (0,13 x PL) + (0,26 x IH) + (0,51 x DD)].**

- **Carte de vulnérabilité à l'infection bilharzienne**

L'association des différents critères affectés de leur poids ou coefficient de pondération donne l'équation : **Carte de vulnérabilité** = [(0,08 x CV) + (0,19 x DE) + (0,73 x DP)]

- **Carte du risque schistosomien par combinaison des couches.**

La carte de risque bilharzien de la région a été faite selon l'équation du risque proposée par Pottier [25] et Dauphiné [17] : Risque = Aléa x Vulnérabilité. Les différentes étapes de l'élaboration des cartes de risque et de leur validation sont retracées par l'organigramme de la figure 2.

Carte de risque = [Carte d'aléa x Carte de vulnérabilité]

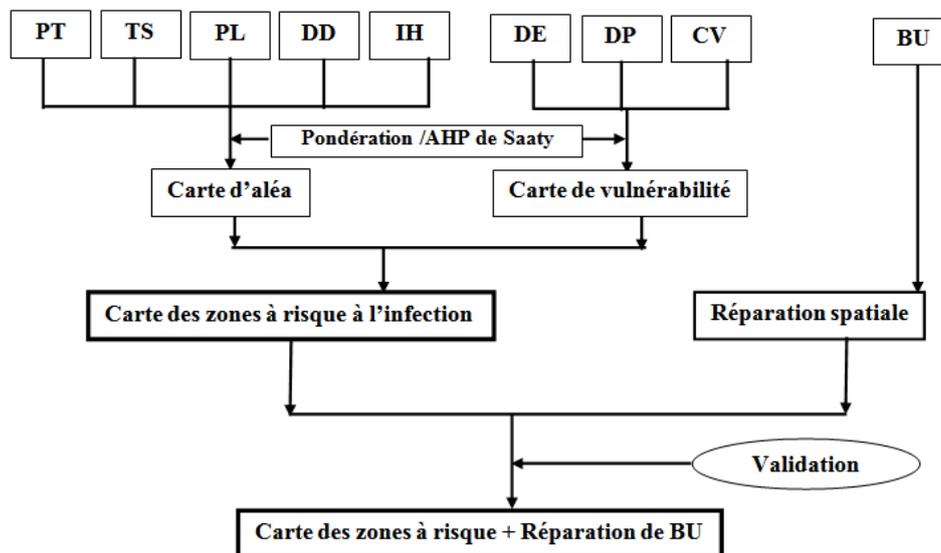


Fig. 2: Méthodologie de traitement des données

III. Résultats et Discussion

III.1. RÉSULTATS

III.1.1. Carte de la répartition spatiale de l'infection par implantation ponctuelle

La répartition spatiale par point est une représentation ciblée. Elle est donc fonction de la situation géographique du centre hospitalier mais aussi de l'enregistrement de cas d'infections décelées. La taille des cercles traduit l'importance du phénomène mis en exergue ou le nombre de personnes ayant contracté la maladie. Le cercle est d'autant plus important qu'il y a de malades. La figure 4 ci-dessous présente une répartition spatiale couvrant l'entièreté de la zone d'étude avec des présences assez importantes par endroit. La lecture des cas enregistrés par structure sanitaire présente le CHR public de Yamoussoukro comme l'entité ayant enregistré le plus de malades (20 cas). Il est suivi du CSU-DM public de Kossou et du CSR-D public de Grogro dans le département de Tiébissou avec respectivement 18 et 15 cas. Le département de Toumodi vient en quatrième position avec 12 cas relevés à l'hôpital général (HG) public. La zone d'étude totalise 189 cas d'infectés au titre de l'année 2017.

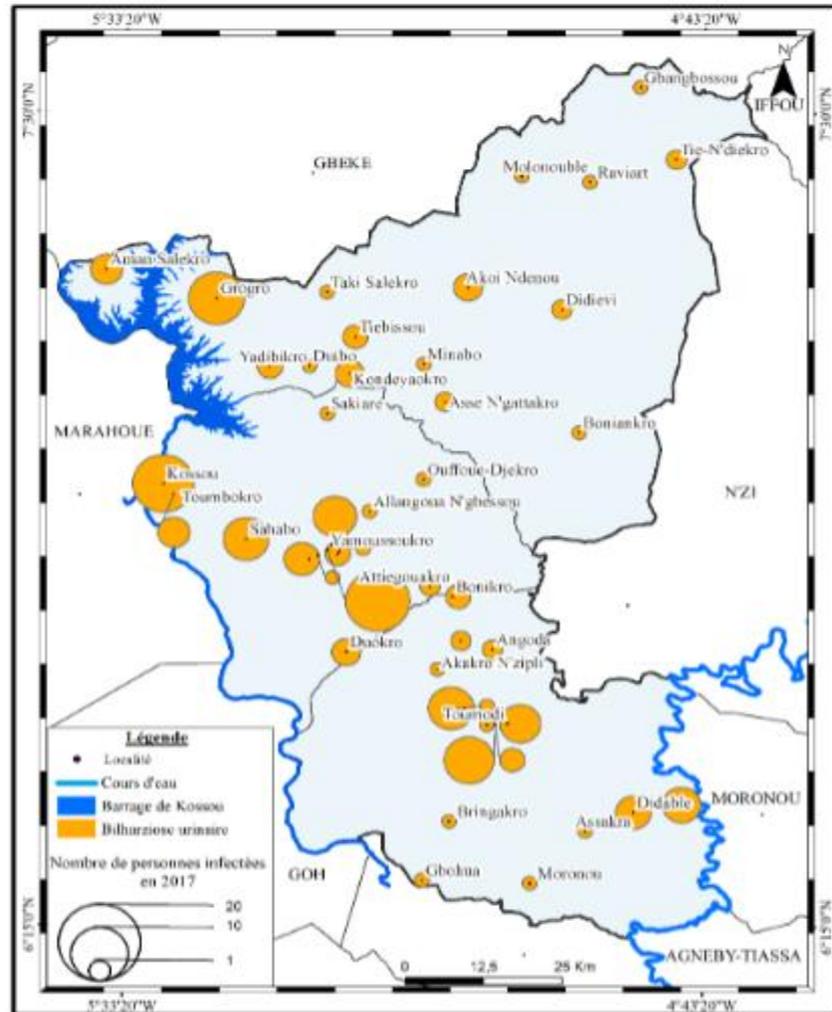


Fig.4: Répartition spatiale par points du nombre de personnes infectée en 2017.

III.1.2. Cartes de sensibilité ou d'aléa à l'infection en 2017

La combinaison des différents paramètres (Pente, Température au sol, Pluviométrie, indice d'humidité, densité de drainage) a permis d'obtenir la carte d'aléa à l'infection schistosomienne de 2017 (Figure 5). Les zones à sensibilité élevée et moyennement portée à un niveau supérieur sont présentes sur l'ensemble du territoire de la zone d'étude avec une répartition assez uniforme. Toutefois les niveaux d'intensité faible et très faible couvrent une superficie plus importante.

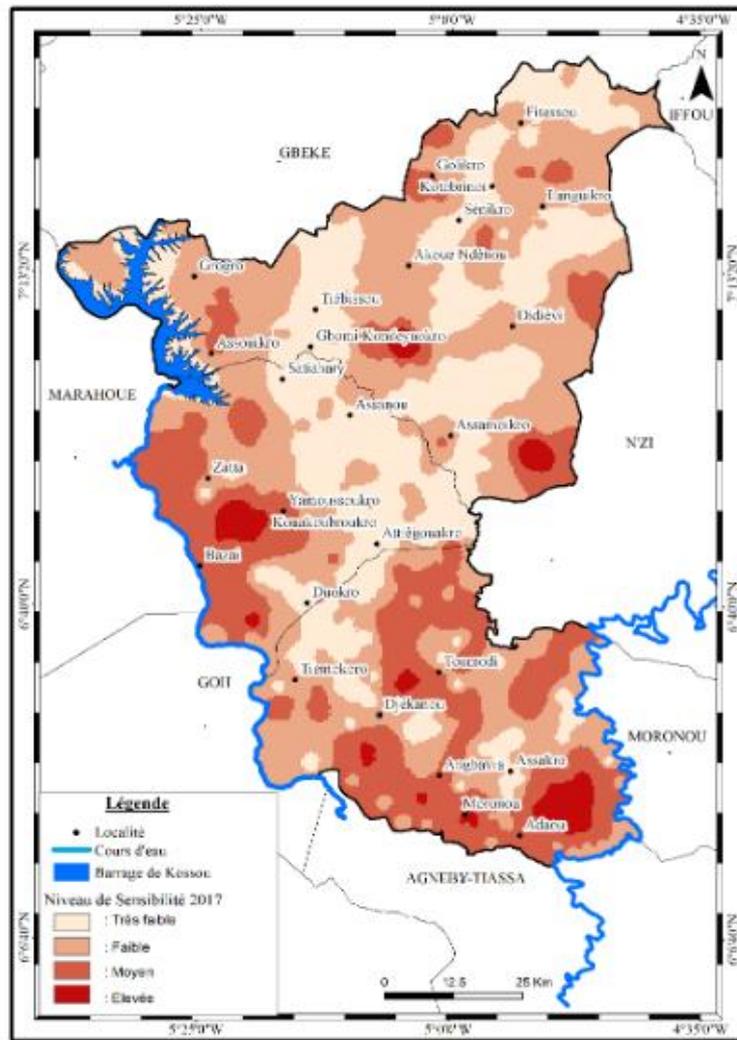


Fig.5 : Répartition de la sensibilité en 2017.

III.1.3. Carte de vulnérabilité à l'infection en 2017

La carte de vulnérabilité de 2017 de la figure 6, est le résultat de la combinaison et de la pondération des couches du couvert végétal, de la distance aux points d'eau et de la densité de population selon la méthode hiérarchique multicritère (AHP) de Saaty. La vulnérabilité à l'infection schistosomienne ou bilharzienne est beaucoup plus ressentie dans le District de Yamoussoukro, au Nord Est et au Sud Est de la région du Bélier.

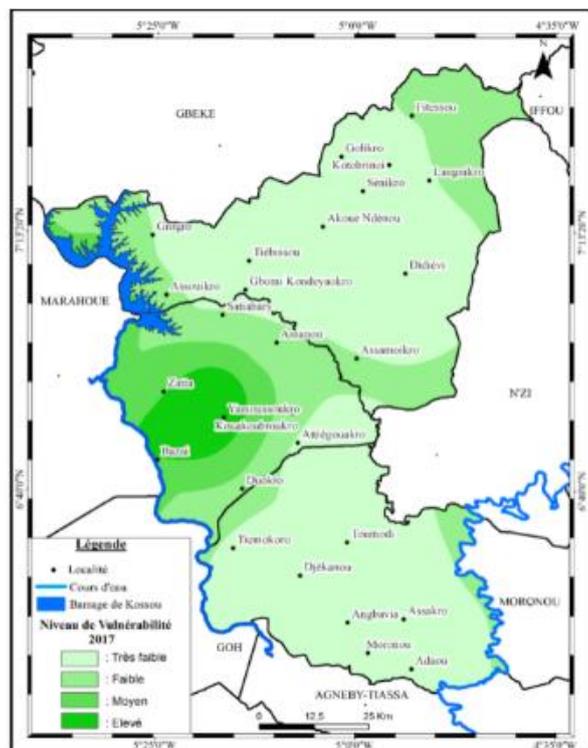


Fig.6: Répartition du niveau de vulnérabilité en 2017.

III.1.4. Carte de risque schistosomien en 2017

La carte de risque obtenue (figure 7) est la résultante du croisement de la carte de sensibilité et de vulnérabilité des différents paramètres étudiés plus haut. L’observation de la carte ci-dessous laisse entrevoir que les zones à risque élevé et moyennement élevé touchent tous les départements de la zone d’étude. Cette répartition spatiale traduit l’ampleur ou l’importance du phénomène dans la région. Les zones à risque très faible et faible sont plus importantes dans la partie Nord de la région du Bélier et à l’Est du District. Les zones à risque élevé et modéré représentent 2910 km², soit 33% de la superficie totale de la région.

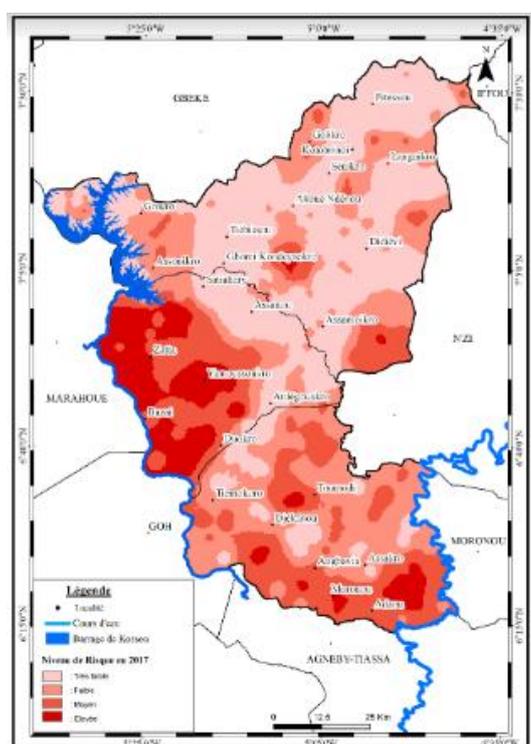


Fig.7: Répartition du niveau de risque de contamination en 2017.

III.1.5. Carte de validation des zones à risque

La figure 8 est une carte de validation. Elle permet de confirmer les zones à risque de contamination. Cette carte est obtenue par superposition des données statistiques de personnes contaminées en 2017 et de la carte de zones à risque. La superposition de la donnée et des zones à intensité de risque élevé et moyennement élevé est la preuve ou la raison explicative de la contamination. L'environnement immédiat du malade serait alors un foyer d'expansion. Les conditions climatiques et environnementales seraient assez propices à la présence des hôtes intermédiaires de la schistosomiase mais aussi à la survie et à la prolifération des schistosomes.

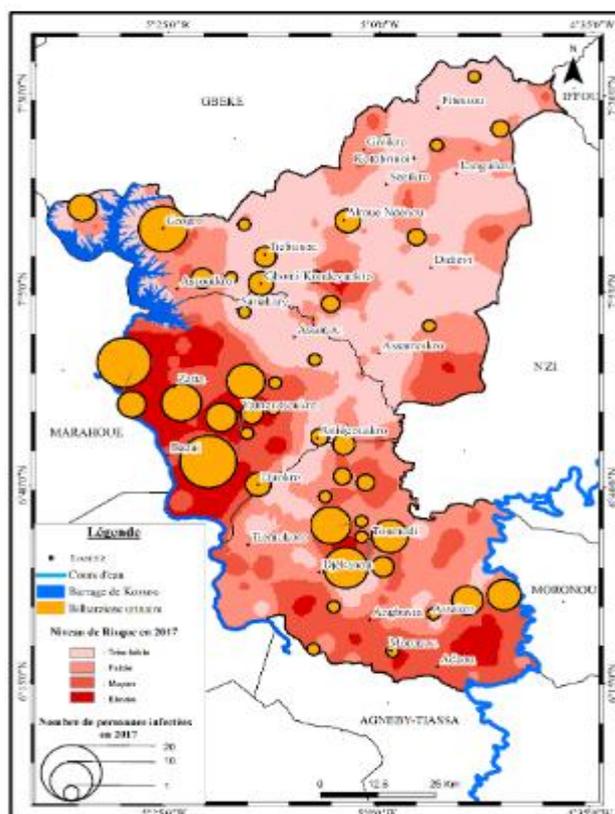


Fig. 8: Répartition du niveau de risque et du nombre de personnes infectées en 2017.

III.1.6. Nombre de personnes contaminées par niveau de risque en 2017

La répartition des personnes contaminées par niveau de risque permet de faire le lien entre les conditions environnementaux-climatiques et le nombre de personnes contaminées. Le graphique de la figure 9 présente à la fois la proportion occupée par chaque niveau de risque et le nombre de contaminés correspondant. Les bandes de l'histogramme traduisent la superficie occupée par chaque niveau d'intensité de risque et les chiffres dans chaque bande représente le nombre d'infectés ou de malades correspondant à ce niveau d'intensité de risque. Ainsi 39% des personnes atteintes de la schistosomiase à *S. haematobium* en 2017 sont en zone de risque élevé et 20% en zone de risque moyen ou modéré (figure 9 et le tableau VI.). Ces pourcentages correspondent respectivement à 74 et 39 personnes. La somme de ces deux niveaux de risque font état de 112 sur un total de 189 personnes contaminées.

Tableau VI: Statistiques des infectés (BU) en 2017 par niveau de risque (BU : Bilharziose Urinaire)

Niveau de risque	District sanitaire	(BU) en 2017	Total	%	Superficie (Km ²)
Très faible	Didievi	6	44	23	3717
	Tiebissou	34			
	Yamoussoukro	4			
Faible	Tiebissou	6	33	18	2226
	Toumodi	27			
Moyen	Didievi	1	38	20	1378
	Toumodi	32			
	Yamoussoukro	5			
Elevé	Toumodi	1	74	39	1523
	Yamoussoukro	73			

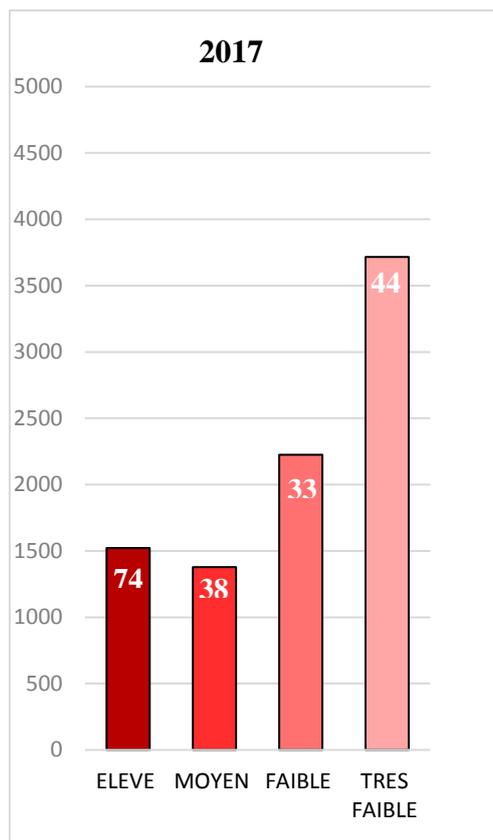


Fig.9: Nombre de personnes infectées (BU) par niveau de risque en 2017.

III.2. Discussion

La présence de la schistosomiase à *Schistosoma haematobium* ou bilharziose urinaire est avérée dans la région du Bélier et dans le district de Yamoussoukro selon les collectes faites par le ministère de la santé et de l'hygiène publique par l'entremise de ses structures décentralisées. La zone d'étude a enregistré 189 cas d'infectés en 2017, avec une répartition spatiale beaucoup plus axées sur la partie sud, sud-ouest et nord-ouest de la région correspondant respectivement aux départements de Toumodi, Yamoussoukro et Tiébissou. Les études menées par Fortmann [26] à Madagascar, ont révélé des similarités dans la répartition de cette parasitose. On la retrouve aussi bien au sud-ouest de la région de Sakaraha, qu'au nord-ouest dans la région de Maevatanana et au sud-est de la région de Midongy-Atsimo. Au Maroc, bien que la maladie soit dépistée en plusieurs points du territoire, elle est surtout présente dans les oasis du sud du pays [27], [28]. Cette répartition a connu notamment une évolution au fil des années avec l'enregistrement de nouveaux cas d'infection à partir de 2007 dans le département de Didiévi, situé au nord de la région. La modélisation du risque schistosomien au moyen du processus de hiérarchisation analytique de Saaty (AHP), a permis d'élaborer la carte de zone à risque de contamination schistosomien de 2017 par hiérarchisation puis leur cession en critères d'aléa et de vulnérabilité. Le calcul de l'indice de cohérence et du ratio de cohérence inférieur à 10 %, ont permis de juger de la cohérence de la démarche adoptée. La technique de l'analyse multicritère a été aussi utilisée par Kouamé, [12] pour déterminer les zones à risque bilharzien et géohelminthiase dans la région de l'Agnéby. Mais contrairement à la méthode hiérarchique multicritère (AHP) de Saaty qui suggère la pondération des différents paramètres, ces critères ont été subdivisés en indicateurs et codifiés. La méthode hiérarchique multicritère (AHP) de Saaty, reste une des méthodes les plus utilisées dans divers domaines [19], [29]

IV. Conclusion

La combinaison des paramètres climatiques, environnementaux et démographique à partir de la méthode d'analyse multicritère (AHP) dans un système d'information géographique (SIG) a permis la mise à disposition de la carte de zones à risque de contamination bilharzien et de la carte de répartition spatiale de la schistosomiase urogénitale de la région de Bélier et du District de Yamoussoukro de l'année 2017. Les conditions climatiques, environnementaux, la mauvaise gestion du péril fécal et urinaire ont fait de cette région une zone d'endémicité. L'apport de certaines données telles que la distribution spatiale des mollusques hôtes intermédiaires de la région que suppose une enquête malacologique, la détermination des manages sans latrine et leur localisation et l'usage d'imagerie satellitaire de haute résolution seraient un facteur déterminant au rehaussement de la qualité de ce travail.

Références Bibliographiques

- [1]. **K.D. ADOU-BRYN, E. ALLAH-KOUADIO, L. K. PENALI, J. OUHON, M. KONE, 1997.** Prévalence des porteurs d'œufs de schistosoma haematobium chez des patients hématuriques en Côte d'Ivoire. *Médecine d'Afrique Noire* : 1997, 44 (8/9), pp. 440-444.
- [2]. **J. N. PODA, A. TRAORE, B. K. SONDO, 2004.** L'endémie bilharzienne au Burkina Faso. *Bull Soc Pathol Exot*, 2004, Vol. 97, N°1, pp. 47-52.
- [3]. **BIOMNIS, 2012.** Bilharziose. Précis de biopathologie, Analyses médicales spécialisées, 3 p.
- [4]. **ANOFEL, 2014.** Bilharzioses. Université Médicale Virtuelle Francophone, 25 p.
- [5]. **OMS, 2014.** Continuer à agir pour réduire l'impact mondial des maladies tropicales négligées. Deuxième rapport de l'OMS sur les maladies tropicales négligées, Genève, Suisse, 128 p.
- [6]. **Y. YAPI, 1988.** Situation épidémiologique du schistosome intestinale à *Schistosoma mansoni* en zone humide de Côte d'Ivoire (région de Man). Thèse de Doctorat 3ème cycle, sciences naturelles, Faculté des Sciences et Techniques, Université d'Abidjan, Côte d'Ivoire, 157p.
- [7]. **K.E. N'GORAN, 1998.** Environnement et transmission des schistosomes à « œuf éperon terminal » en Côte d'Ivoire. Afrique de l'ouest. Thèse de Doctorat Université de Cocody. 199p.
- [8]. **J. UTZINGER, E. K. N'GORAN, Y. A. OSSEY, M. TRAORE, K. L. LOHOURIGNON, A. ALLANGBA, L. A. AHIBA, M. TANNER, C. LENGELER, 2000.** Rapid screening for schistosoma mansoni in western Côte d'Ivoire using a simple school questionnaire. *Bulletin of the world health organization*, 2000, 78 (3). pp. 389-398.
- [9]. **A.N. N'GUESSAN, 2003.** La lutte contre les schistosomes en Côte d'Ivoire : facteurs de complexité épidémiologie et contraintes opérationnelles à la lutte. Thèse de Doctorat de l'Université d'Abidjan, Côte d'Ivoire, 127p.
- [10]. **P. CECCHI, S. BALDE, Y. G. YAPI, 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.
- [11]. **N. A. N'GUESSAN, C. A. ACKA, J. UTZINGER, E. K. N'GORAN, 2007.** Identification des régions à haut risque de schistosomes en Côte d'Ivoire. *Bulletin de la Société de pathologie exotique* ISSN 0037-9085 CODEN BSPEAM. vol. 100, n°2, pp. 119-123.
- [12]. **A.K.D. KOUAME, 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.
- [13]. **A.N. N'GUESSAN, A. GARBA, N. M. ORSOT K. E. , N'GORAN, 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.
- [14]. **D. POIDEVIN, 2007.** Manuel de cartographie. Extrait de son ouvrage « la carte : moyen d'action » aux éditions Ellipses. Artique Les Roches 37230 Fondettes. 96p.
- [15]. **E. NGONSEU, G.J. GREER, R. MIMPFONDRI, 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]. **L. FERANDEL, 2001.** La bilharziose urinaire dans le monde aspect épidémiologique. Thèse de doctorat. Université Henri Poincaré - Nancy 1, 113 p.
- [17]. **A. DAUPHINÉ, 2001.** Risques et catastrophes : Observer, spatialiser, comprendre, gérer. Edit. Armand COLIN, Paris, 287 p.
- [18]. **J. P DOUMENGE, K. E. MOTT, C. CHEUNG, D. VILLENAVE, O. CHAPUIS, M. F. PERRIN, G. REAUD-THOMAS, 1987.** Atlas de la répartition des Schistosomiasis. Univ. Bordeaux III, 399p.
- [19]. **M. B. SALEY, J. H. DANUMAH, F. EPSE O. KANOHN, V. M. SOROKOBY, D. ATCHEREMI, S. P. DENEAN, F. K. KOUAME, V. E. DJAGOÛA, 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.
- [20]. **K. DONIMIQUE, 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.
- [21]. **J. F. GLEYZE, 2002.** Analyse spatiale dans les domaines de la géographie, du risque et des réseaux : Bases de données géographiques, risque, théorie des graphes, modélisation et évaluation des réseaux territoriaux, étude multi-niveaux des réseaux. Institut Géographique National, Laboratoire COGIT, Université Paris VII, 256 p.
- [22]. **M. GUISEIX, 2009.** Mécanismes d'émergence des maladies infectieuses : étude par la modélisation du rôle de la protection de groupe, dans des populations hôtes homogènes ou structurées spatialement. Thèse de doctorat, Université Claude Bernard - Lyon I. 325p.
- [23]. **G. K. M. G. CONCHITA, 2011.** SIG et analyse multicritère pour l'aide à la décision en agriculture urbaine dans les pays en développement, cas de Ouagadougou au Burkina Faso. Thèse de doctorat, Université Paris 8 Vincennes Saint-Denis. 301p.
- [24]. **T. L. SAATY, 1980.** The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority setting. Resource allocation. Mc Graw-Hill, New York, 287 p.
- [25]. **N. POTTIER, 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'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Spécialité Sciences et Techniques de l'Environnement, 582 p.
- [26]. **M. FORTMANN-RAVONIARILALA, 2005.** Approche éco-géographique de l'environnement de la transmission de la schistosomose intestinale de l'Homme au sud des Hautes Terres de Madagascar. Thèse de doctorat. Université Jean Moulin (Lyon 3). 275p.
- [27]. **K. HATTOUFI, 2013.** Évolution de la schistosomose urinaire dans la province d'Errachidia Analyse des facteurs de risques. Master Parasitologie et Zoonoses Parasitaires en Milieu Tempéré « PARAZOON ». Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II du Maroc. 118p.
- [28]. **M. EL BAGHOULLI, M. EL MOUZDAHIR, A. ZEMMOURI Y. , EL MESSOUADI, R. ABOUTAEIB, M. DAKIR, R. RABII, F. MEZIANE, 2009.** Les bilharzioses urinaires (à propos de 2 cas). *J Maroc Urol* 2009 ; 14 : pp. 36-39.
- [29]. **A. RAMOS, L. CUNHA P. , CUNHA, 2014.** Application de la Méthode de l'Analyse Multicritère Hiérarchique à l'étude des glissements de terrain dans la région littorale du centre du Portugal : Figueira da Foz – Nazaré, *Geo-Eco-Trop.*, 2014, 38, 1, n.s. pp.33-44.

Gnahoua Guy-Roger Gnazalé" Contribution de La Géomatique à la cartographie du risque Schistosomien par analyse multicritère dans le District Autonome de Yamoussoukro et la région du Bélier." International Journal of Engineering Science Invention (IJESI), Vol. 08, No. 05, 2019, PP 08-19