



RESEARCH ARTICLE

APPORT DE LA GEOMATIQUE ET DES STATISTIQUES SPATIALES POUR LA CARTOGRAPHIE ET L'ANALYSE DES DEPRESSIONS EN LIEN AVEC LES POTENTIELS GITES LARVAIRES DANS LE DISTRICT SANITAIRE DE COCODY-BINGERVILLE

Félix Kouamé N'dri¹, Adonis Krou Damien Kouame¹, Nicaise Aya N'guessan², Eric Valère Djagoua¹ and Assepo Célestin Hauhouot³

1. Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection (CURAT), Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan.
2. Laboratoire de Zoologie et Biologie Animale, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire.
3. Institut de Géographie Tropicale (IGT), Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire.

Manuscript Info

Manuscript History

Received: 05 April 2022

Final Accepted: 08 May 2022

Published: June 2022

Key words:-

Malaria, Spatial Statistics, Breeding Sites, ALOS PALSAR DEM, GIS, Cocody-Bingerville, Abidjan

Abstract

Contribution of geomatics and spatial statistics for the mapping and analysis of depressions related to potential larvate locations in the health district of Cocody-Bingerville. The depressions or basins in the landscape constitute zones of water stagnation and present themselves as potential favorite zones for the female Anopheles mosquito to lay her eggs. This increases the vectorial capacity with the consequence of a risk of malaria attack for the population in the health district of Cocody-Bingerville. The objective of this study is to analyze the geostatistical distribution of depressions in order to contribute to vector control. She is based on geospatial and statistical analysis of depressions in said health district. Thus the integration and processing of ALOS PALSAR data of 12.5 m spatial resolution in a GIS and spatial autocorrelation techniques have been applied for the modeling of depression zones. The presence of local clusters was further assessed using Moran's statistical index to assess the intensity of hot spots (High-High Cluster) and cold spots (Low-Low cluster). Local statistics from Moran I were used to perform cluster and value analysis in the spatial distribution of depressions in the landscape. It reveals a z-score of 56.91 and a Moran's index of 0.07. These positive statistical values attest that the observed phenomenon is highly dependent on the topography, hence the groupings or clustering of the depressions.

Copy Right, IJAR, 2022., All rights reserved.

Introduction:-

Le paludisme demeure la maladie à transmission vectorielle la plus répandue et la plus meurtrière à travers le monde (WHO, 2020) ; Bhatt et al., 2015). Il continue d'être l'une des principales causes de morbidité et mortalité en Afrique subsaharienne (WHO, 2020). L'OMS estime qu'aujourd'hui la population susceptible d'être infectée par le parasite s'élève à 3,3 milliards de personnes (WHO, 2015).

En Côte d'Ivoire, la transmission du paludisme est permanente avec des recrudescences en saison de pluies. Il constitue 43% des motifs de consultations, 62% des hospitalisations des moins de 5 ans (FAKIH, 2014). Près de

Corresponding Author:- Félix Kouamé N'dri

Address:- Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection (CURAT), Université Félix Houphouët Boigny d'Abidjan.

12% de cas avérés, et 11,8% de mortalité infantile due en grande partie au paludisme, 40% des causes d'absentéisme scolaire, 50% des pertes de revenus agricoles (FAKIH, 2014).

Le paludisme demeure toujours endémique en Côte d'Ivoire avec la majorité de la population (81%) vivant dans les régions avec une incidence et cas estimés variant de 300 à plus de 500 cas pour 1000 habitants (PNLP, 2020).

Chez les enfants de moins de 5 ans, cette incidence du paludisme est plus élevée (WHO, 2015). Cela parce que le vecteur le plus efficace du paludisme (*Anophèles gambiae*) est le plus répandu et difficile à contrôler (MSHP, 2016).

Divers facteurs sont susceptibles d'agir sur la distribution, le développement et la densité des populations de vecteurs, et par conséquent sur la distribution de la maladie. Parmi ces facteurs l'on peut citer la température, les précipitations, les barrières physiques, l'habitat et l'hôte (Boussaaet al, 2014).

L'élévation des précipitations augmente la disponibilité, la persistance et les dimensions des habitats larvaires d'*Anophèle*, bien que cela dépende des paramètres tels que les taux d'évaporation locaux, la percolation du sol et la pente du terrain (McMichael, 2013).

La zone du sud de la Côte d'Ivoire est une région forestière avec une pluviométrie abondante (jusqu'à 1 800 mm), une déforestation largement avancée englobe les zones de transmission de plus en plus importantes, et elle dure quasiment toute l'année (PNLP, (2013).

Le district sanitaire de Cocody-Bingerville, depuis la crise post-électorale qu'a connue la Côte d'Ivoire fait face à une pression foncière sans précédent d'où une modification de l'environnement suivie d'une forte croissance urbaine avec pour corolaire la prolifération des moustiques induite par l'interaction entre plusieurs composantes environnementales comme l'eau, les sols hydromorphes, salés ou non et la végétation qui leur sont associés (Brahma et al, 2010). Il convient donc d'analyser la répartition spatiale des indicateurs environnementaux du paludisme. Pour ce faire, la description de ces variables et la modélisation de leur structure ainsi que la mise en évidence des associations entre ces variables et celles d'expositions à des facteurs de risqué environnementaux est primordiale (Goriaet al, 2011).

Les cuvettes ou zones de dépressions constituant des potentielles zones de prédilection de la femelle de l'*Anophèle* pour la ponte des œufs, il convient de mieux les caractériser.

L'objectif de cette étude est d'analyser la distribution géostatistique des dépressions en vue de contribuer à la lutte anti-vectorielle dans le district sanitaire de Cocody-Bingerville.

Données et méthodes

Présentation de la zone d'étude

Le district sanitaire de Cocody-Bingerville est situé entre 5°27'36'' et 5°17'55'' de latitude Nord et entre 3°57'19'' et 3°42'58'' de longitude Ouest (Figure 1). Il comprend la commune de Cocody et la Sous-Préfecture de Bingerville.

Il est limité au nord et au nord-est par les districts sanitaires d'Anyama et Alépé, au sud-est par celui de Grand Bassam, à l'ouest par les districts sanitaires d'Abobo-est et d'Adjamé-plateau-Attécoubé et en fin, au sud par celui de Treichville-Marcory et Koumassi-Port-Bouët-Vridi. Il bénéficie d'une longue façade lagunaire avec une superficie de 429,75 km², (Figure 1).

La population du district sanitaire de Cocody-Bingerville est passé de 308097 en 1998 à 538374 en 2014 (INS, 2014). Le climat de cette zone est celui du littoral septentrional du Golfe de Guinée qui est un climat équatorial de transition. C'est une région humide, avec des précipitations interannuelles de plus de 1500 mm. Au plan hydrographique, le district sanitaire a un réseau hydrographique dense. Il est bordé par la lagune Ebrié, Adjin et Potou. La lagune Ebrié est alimentée par trois bassins versants (Agnéby, Comoé, Mé) et par quelques petites rivières (Anguédédou, Gougbo, banco). Au plan topographique, le district sanitaire est composé d'un relief de plaine et de bas plateau avec un réseau de drainage est assez dense.

La végétation est marquée par une typologie de paysages végétaux tels que la forêt dense sempervirente, ombrophile dégradée par des activités anthropiques, les savanes prélagunaires, les mangroves et les forêts marécageuses.

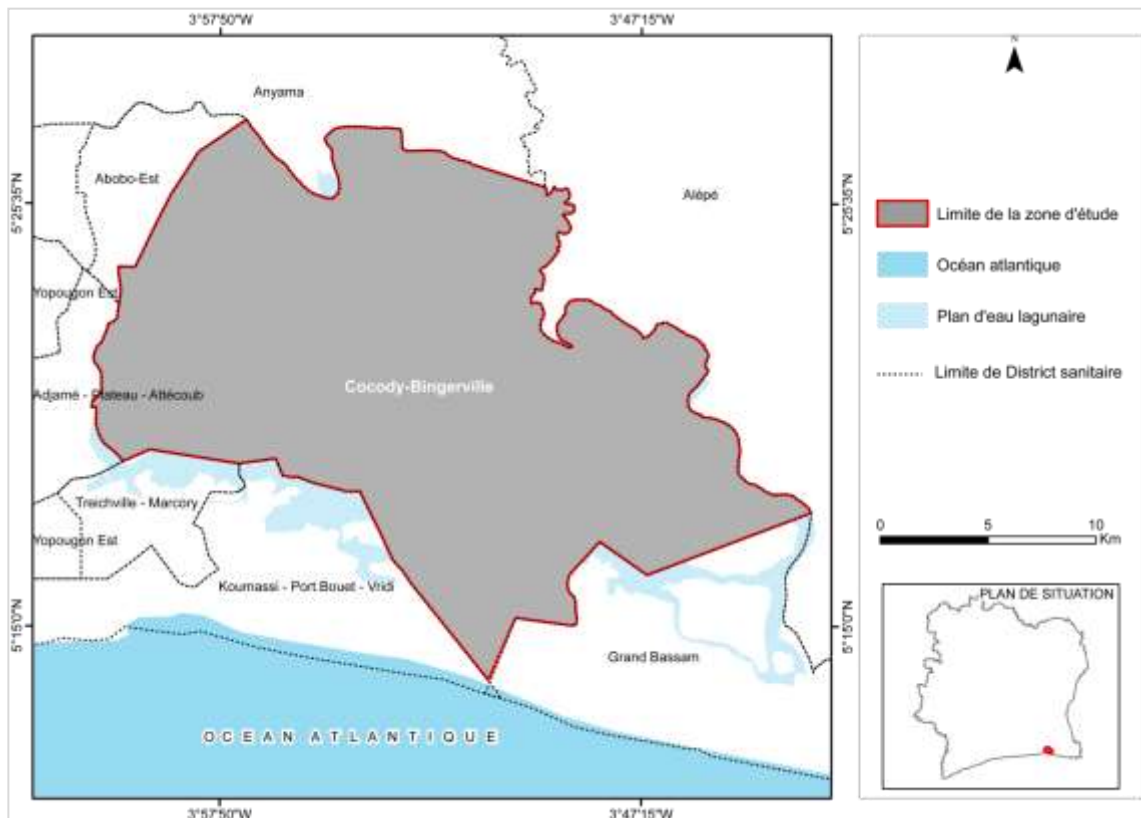


Figure1:- Présentation et localisation de la zone d'étude.

Données

Les données utilisées dans cette étude concernent l'imagerie satellitaire et les données cartographiques. L'image satellitaire radar AlosPalsar Dem a été acquise sur le site de l'ASF (Alaska Satellite Facility) via le lien <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/> en niveau RTC (Radiometrically terrain-corrected) en mode FBD (Fine Beam Dual polarization) au format GeoTIFF, qui convient aux systèmes d'information géographique. Ce mode offre des données en double polarisation HH + HV.

Ces données de hautes précisions sont issues d'une mission ALOS de la JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency) de 2006 à 2011. L'image est corrigée radiométriquement et géométriquement. Les données ALOS/PALSAR sont actuellement les seules données en bandes L disponibles gratuitement.

D'autre part, les données cartographiques concernent les limites administratives (Communes et Sous-préfecture), le bâtis et les plans d'eau acquis au CIGN ex CCT. Outre ses données, il y a des données GPS acquise sur le terrain pour la validation du modèle.

Méthodes:-

Cartographie des zones de dépressions (potentiels gîtes larvaires)

La méthodologie appliquée pour l'extraction des zones de bas-fond, potentielles zones de prédilection de la femelle de l'Anophèle pour la ponte de ses œufs a été réalisée de la manière suivante:

Dans un premier temps, la fonction Fill Sink de l'extension Hydrology Tools a été utilisée pour le remplissage des cellules identifiées comme des points bas (dépressions) jusqu'à leurs niveaux de points d'écoulement horizontaux

dans l'image. Après l'exécution de cette commande, une nouvelle image est générée (MNE)¹ avec toutes les dépressions remplies.

Ensuite, si le modèle d'élévation d'origine est comparé au modèle rempli cellule par cellule, la différence de profondeur locale peut être calculée en fournissant une carte dite des zones de dépression. Dans la pratique, l'extension Map Algebra, la fonction Raster Calculator a été utilisée pour cette opération algébrique consistant à faire une soustraction entre le Raster en sortie et le Raster de départ.

Par la suite, les dépressions ont été converties en polygones avec l'outil «feature to polygon» de Arc Toolbox avec un champ gridcode contenant les valeurs des élévations. Deux nouveaux champs ont été créés l'un pour le calcul des superficies et l'autre pour le calcul des volumes. Les expressions algébriques utilisées sont les suivantes:

$$V = E * S \quad (\text{Eq.1})$$

avec: V le volume exprimé en m³, E l'élévation exprimée en m et S la superficie exprimée en m².

Ainsi, en résumant les valeurs de profondeur des cellules dans chaque dépression et en les multipliant par la superficie des cellules, la capacité totale (volume) d'une dépression est déterminée par des valeurs d'attribut décrivant leurs capacités et leurs profondeurs maximales.

Pour finir, la fonction Spatial Autocorrélation (Morans I) a servi pour générer la carte des potentiels gîtes larvaires en mettant en évidence des clusters et leur niveau de significativité. La figure 2 ci-dessous récapitule les principales phases de la méthodologie.

Validation des dépressions

Les données terrain acquises au GPS (300 points) sur les zones de stagnation d'eau ont servi à la validation du modèle.

Aussi, le calcul du coefficient de corrélation entre les données issues du traitement de l'image RADAR et les données terrain a été réalisé avec la formule suivante:

$$\text{Correl}(x,y) = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2 \sum(y-\bar{y})^2}} \quad (\text{Eq.2})$$

Où \bar{x} et \bar{y} sont respectivement les moyennes des échantillons MOYENNE (matrice1) et MOYENNE (matrice2). Le coefficient de corrélation est compris entre -1 et +1. Plus, le coefficient est proche des valeurs extrêmes -1 et +1, plus la corrélation entre les variables est forte.

Une corrélation égale à 0 signifie que les variables sont linéairement indépendantes ainsi: r = +1 corrélation positive parfaite, r = -1 corrélation négative parfaite et r = 0 absence totale de corrélation.

Analyse des dépressions par autocorrélation spatiale

L'outil d'Autocorrélation (Morans I) a pour objectif de confirmer si la répartition d'un phénomène est aléatoire ou non, disperse ou agrégée. Ainsi, lors du test statistique, deux hypothèses sont émises:

- H0 : La distribution spatiale est aléatoire
- H1 : La distribution spatiale n'est pas aléatoire, elle est disperse ou agrégée.

Le test d'autocorrélation produit un Z-score (écart-type) suivant une loi normale. La valeur p est l'erreur, le risque de rejeter H0 alors qu'elle est vraie. Plus, cette valeur est faible moins le risqué est important. Si l'on est par exemple prêt à accepter 10% de risques, cela correspond à un Z-score inférieur à -1,65 ou +1,65.

Le Z-score indique donc la significativité de l'indice de Moran. Si le test est significatif, l'hypothèse nulle doit être rejetée. La distribution spatiale n'est donc pas aléatoire. Elle est dispersée si l'indice de Moran est négatif et agrégée si l'indice de Moran est positif.

¹ Modèle Numérique d'élévation

Maillage et analyse du risqué d'accès palustre

Le facteur distance est très déterminant dans l'analyse du risqué d'accès palustre. Selon plusieurs auteurs la distance Moyenne autour des gîtes larvaires pour l'évaluation du risqué d'accès palustre se limite à 2 000 m (Clarke et al. 2002; Service, (1997). Pour ces auteurs les gîtes situés au-delà de cette barrière peuvent être considérés comme ayant un impact négligeable sur la transmission dans les programmes de contrôle du paludisme. Les paramètres choisis pour la création des mailles sont donc de 2000 m de côté et l'outil Grid Index Features de ArcGIS a permis de générer les mailles. Ci-dessous un schéma simplifié de la méthodologie. Une superposition entre les zones bâties, les dépressions et les mailles a été effectuée en vue d'analyser l'exposition des populations au risqué d'accès palustre par maille.

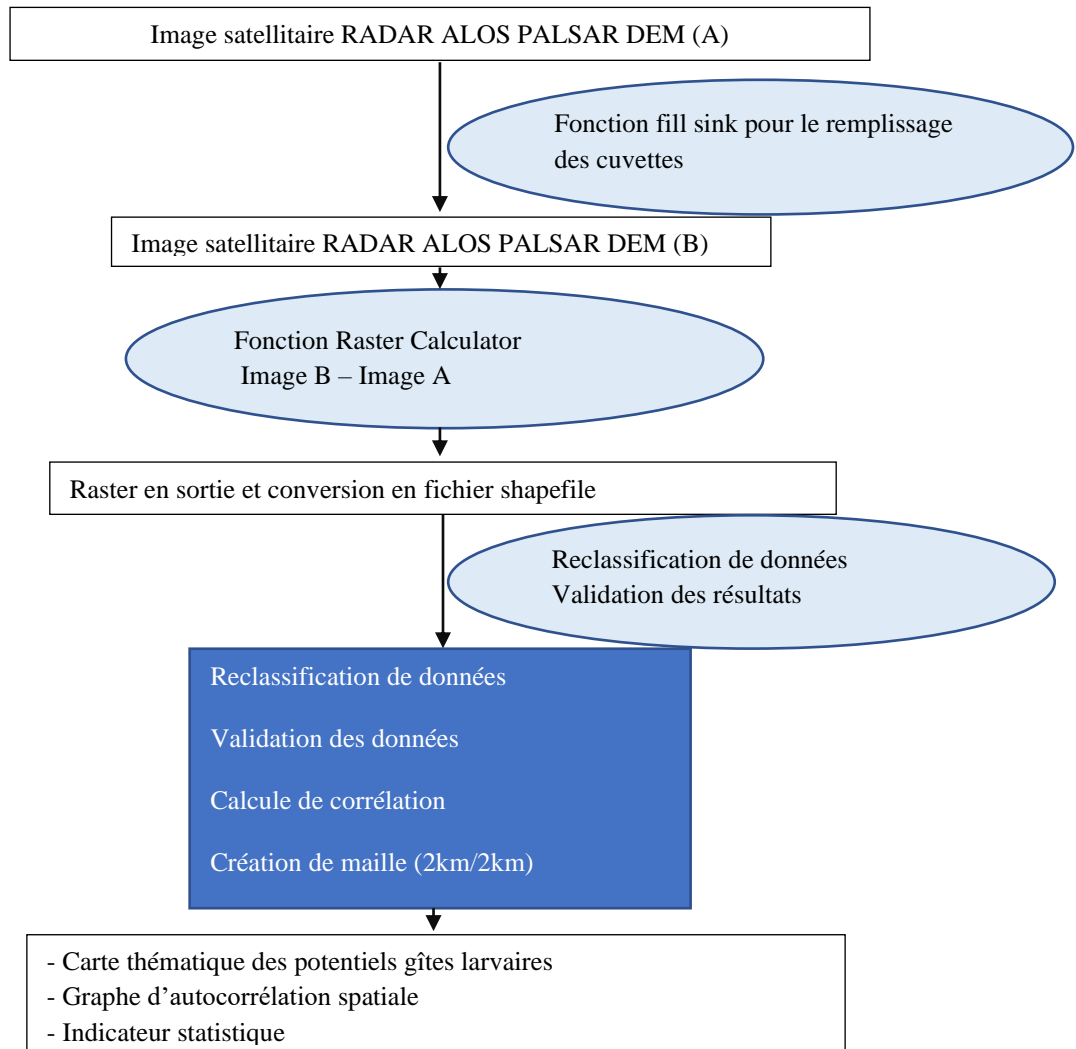


Figure 2:- Schéma synthétique de la méthodologie.

Résultats:-

Des zones de pressions (Potentiels gîtes larvaires) clustérisées

L'analyse des résultats montre une répartition hétérogène des dépressions. La significativité des clusters est beaucoup plus observée au sud et à l'est de la zone d'étude. Les clusters ainsi observés démontrent que les dépressions sont fortement influencées par la topographie de la zone. Cela se confirme par le test d'autocorrélation effectué en dessous. Les résultats d'autocorrélation obtenus indiquent que le Z-score est de 56,91 (Cf figure 3). On rejette l'hypothèse nulle avec un risqué inférieur à 1%. Comme l'indice de Moran vaut 0,07, il est positif ce qui vient confirmer que les dépressions observées dans le paysage sont agrégées ou «clustérisées».

La lutte anti vectorielle utilise des outils et techniques différentes en fonction de ses objectifs, mais aussi du groupe de vecteurs ciblés. Elle peut viser: 1) la diminution des populations de vecteurs en dessous des seuils nécessaires à la transmission; 2) l'évitement du contact hôte/vecteur pour empêcher la transmission; ou 3) l'élimination de populations d'une zone géographique donnée.

Un des moyens de lutte antivectorielle le plus pérenne est l'élimination des gîtes larvaires du vecteur ciblé. Il peut s'agir d'actions de drainage (assécher les zones marécageuses, modifier la salinité de l'eau), de modifications topographiques, de régularisation des berges des fleuves, d'ensoleillement des gîtes ombragés, d'élimination des gîtes anthropiques (coupe de pot de fleur, pneus abandonnés, gouttière bouchée).

Ces résultats obtenus pourront servir d'indicateurs pour orienter les entomologistes dans la prospection larvaire et aussi contribuer dans le cadre de la lutte antivectorielle en détruisant ces potentiels gîtes larvaires.

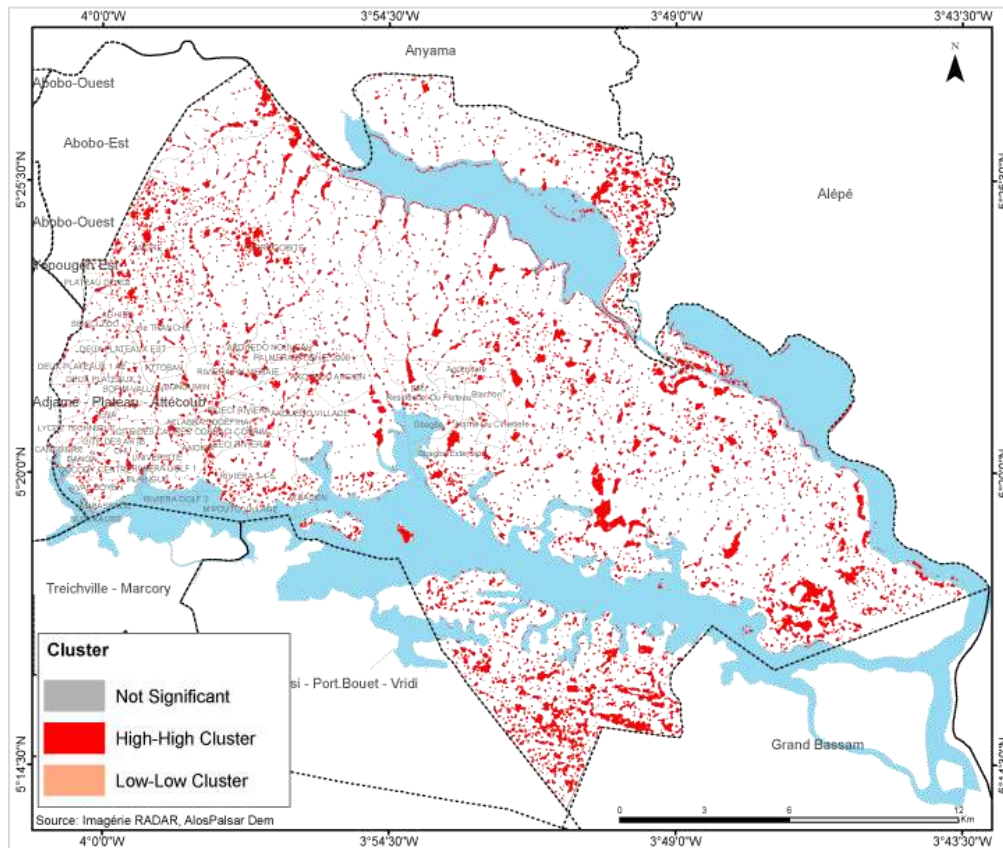


Figure 3:- Cluster des zones de depression.

Outre le test d'autocorrélation spatiale, il est observé une corrélation significative $r = 0,68$ entre les données terrain et celles observées à l'issue de l'analyse des résultats. Cet indicateur statistique permet donc de valider l'exactitude des résultats.

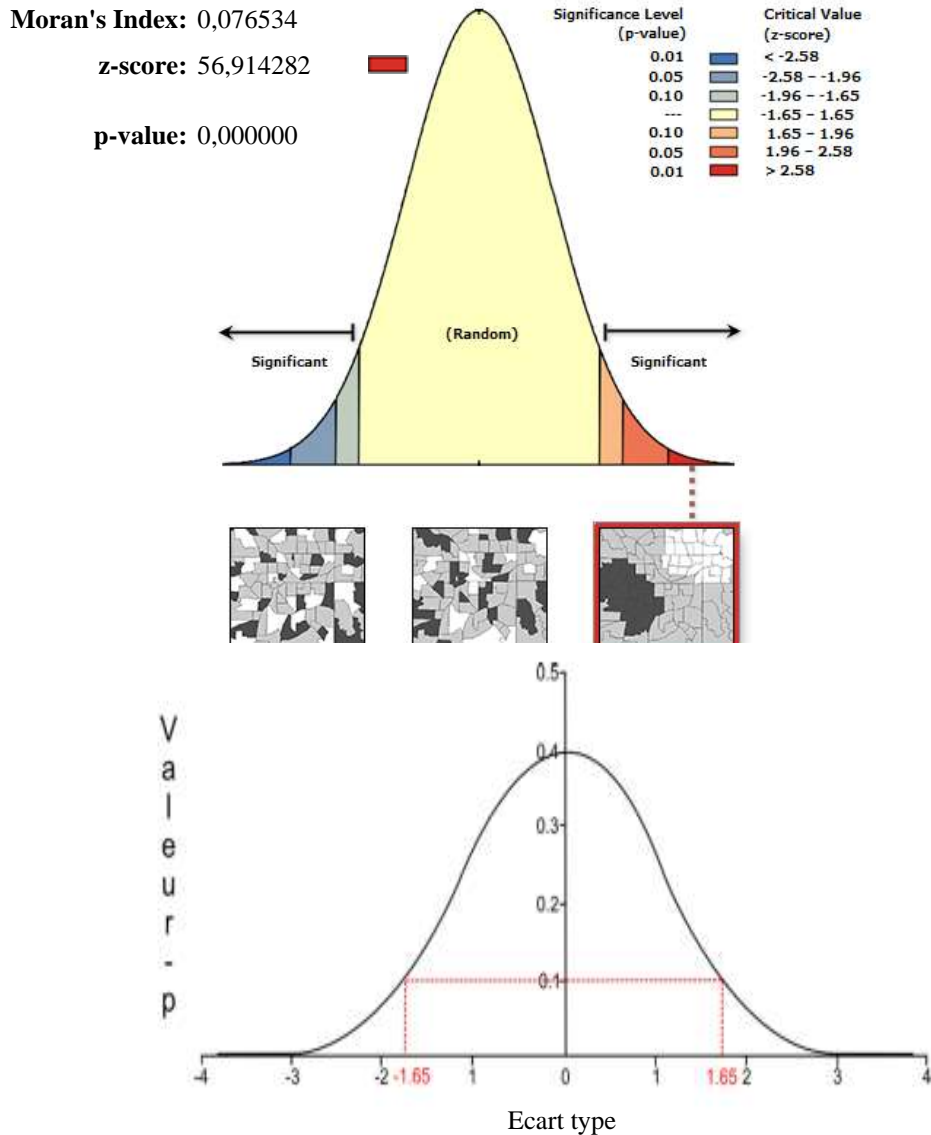


Figure 4:- Graphe autocorrelation spatiale de Moran.

Maillage et analyse du risqué'accès palustre

L'analyse de la figure 5 indique 132 mailles en forme carrée de 2 km de côté réparties sur l'ensemble du district sanitaire de Cocody-Bingerville. Les résultats montrent que tout le territoire présente des potentialités énormes à la prolifération des moustiques responsables du paludisme et autre maladie tel que la dengue. En effet, il est dénombré 31016 dépressions avec des volumes allant de 100,06 à 141374,16 m³. Si l'on s'entient aux différents niveaux du risqué d'accès palustre sur la base de 2km, toute la population du district sanitaire de Cocody-Bingerville est soumise à un risqué d'accès palustre élevé ou faible selon la proximité des gîtes larvaires. En effet, les dépressions sont susceptibles de stagner de l'eau pendant plusieurs jours, ainsi elles deviennent un biotope important pour les moustiques. Ce qui a pour conséquence l'augmentation de la capacité vectorielle donc un danger pour les populations environnantes.

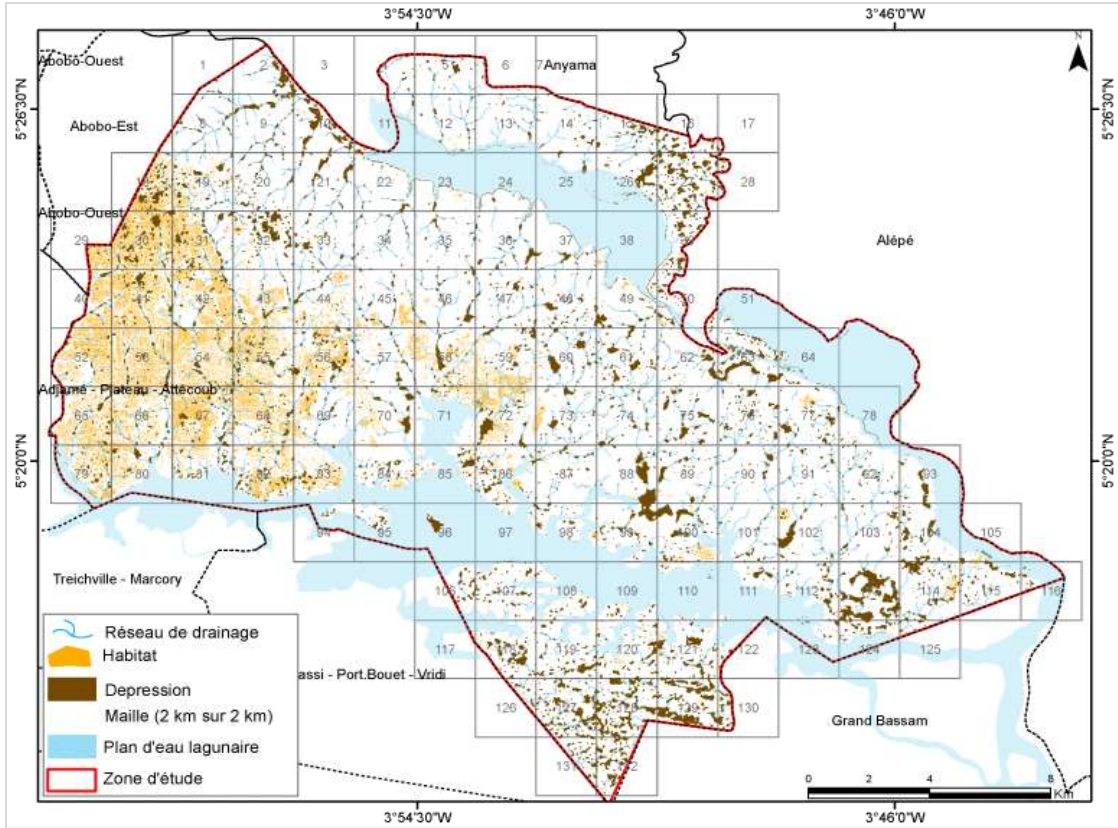


Figure 5:- Maillage de la zone d'étude.

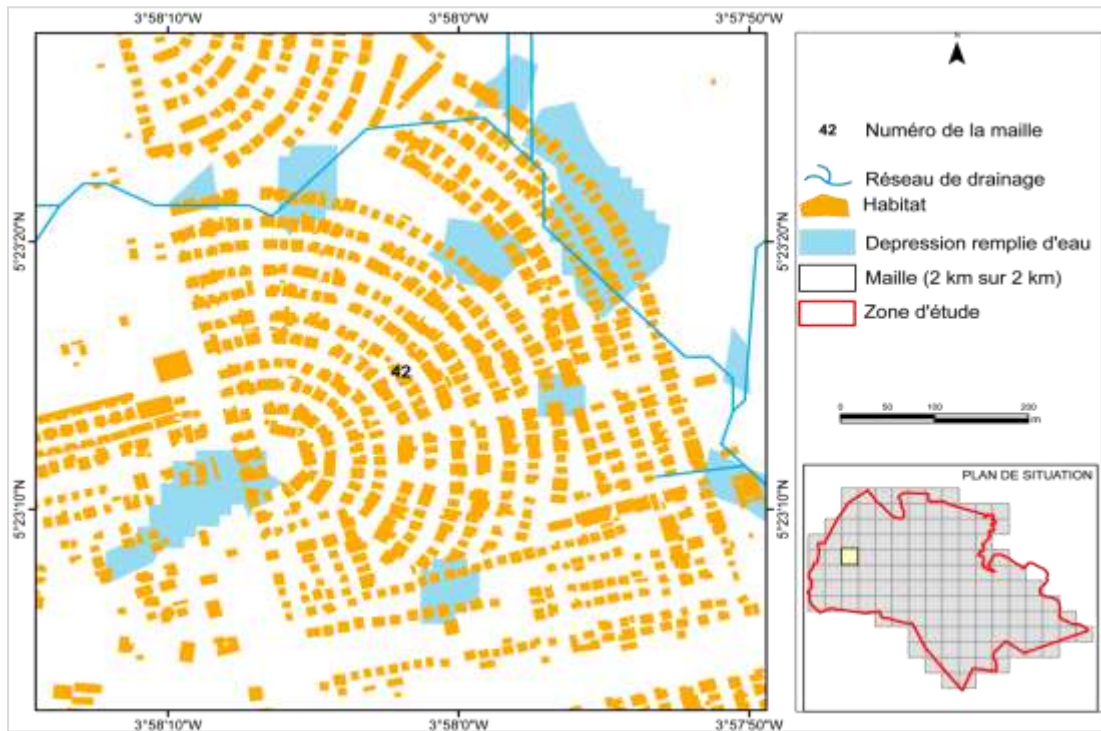


Figure 6:- Zone résidentielle avec des dépressions locales (bleu) et des bâtiments (orange) situés de manière plus ou moins critique à l'intérieur ou en contact avec elles.

Discussion:-

La détermination des dépressions (potentiels gîtes larvaires) s'est faite à partir des techniques de statistique spatiale. L'analyse des résultats a montré une distribution non aléatoire des potentiels gîtes larvaires. L'intensité des points chauds (High-High Cluster) et des points froids (Low-Low cluster) a été évaluée à l'aide de l'Indice Statistique de Moran. Ce qui pourrait être un indicateur pertinent pouvant aider à optimiser les programmes de lutte anti vectorielle et par ricochet les entomologistes dans les prospections larvaires.

Les statistiques locales de Moran I ont été utilisées pour effectuer une analyse des grappes et leurs valeurs dans la répartition spatiale des dépressions dans le paysage. Les résultats ont été validés par des données terrains acquises au GPS portable. Le test de corrélation était significatif avec une valeur $r=0,68$.

Ce résultat corrobore avec les travaux de Fatima et al. (2021). Les auteurs à l'aide de la fonction Getis Ord G_i^* statistiques ont pu cartographier les cas de Paludisme en regroupements locaux et évaluer plus en détail l'intensité des points chauds et des points froids au niveau du conseil syndical. Leurs résultats ont montré une hétérogénéité spatiale de l'incidence du paludisme dans le district de Bahawalpur au Pakistan, identifiant à la fois des grappes élevées (points chauds) et faibles (points froids).

Outre ces auteurs, Hafeez et al. (2017) ont élaboré une cartographie spatiotemporelle des risques de dengue en utilisant l'autocorrélation spatiale locale. Leurs résultats ont permis d'aider à identifier les causes possibles de risque et d'orienter la planification stratégique des mesures de prévention et de contrôle dans le district de Lahore au Pakistan. Sánchez-Martin, et al. (2019) ont démontré, au moyen d'un système d'information géographique (SIG) et de la statistique spatiale, qu'il est possible de mieux définir les groupements d'hébergements ruraux disponibles en Estrémadure, en Espagne, surtout si ceux-ci sont conceptualisés à partir de leur capacité d'accueil. Dans leur démonstration, deux techniques spécifiques ont été utilisées: l'analyse des points chauds et l'analyse des valeurs aberrantes, qui donnent des résultats prouvant l'existence de groupes homogènes et hétérogènes d'entreprises d'hébergement, en fonction non seulement de leur proximité spatiale mais également de leur capacité d'hébergement. Poursuivant, ces auteurs affirment que sur la base de cette analyse, l'administration régionale peut concevoir des politiques touristiques et des plans stratégiques afin d'améliorer la gestion et l'efficacité de chaque entreprise.

Dans notre étude, un maillage de 2km/2 a été réalisé en vue d'évaluer le risque d'accès palustre dans le district sanitaire de Cocody-Bingerville. En effet, il est dénombré 31016 dépressions avec des volumes en m^3 allant de 100,06 m^3 à 141374,16 m^3 ce qui rend cette zone vulnérable au paludisme. La superposition du bâti, des mailles et des potentiels gîtes larvaires révèle que dans chaque maille il y'a au moins un potentiel gîte larvaire. Ainsi, dès lors que, les conditions idoines sont réunies pour accélérer la reproduction et amplifier la prolifération des moustiques, ces zones de dépressions deviennent un biotope pour ces vecteurs et peuvent servir de base de données dans le cadre de la lutte antivectorielle. Une telle démarche est attestée par Mouchetet al. (2004).

La méthode d'extraction des dépressions dans cette étude a été utilisée par de Balstrom et Crawford en 2018. Les auteurs ont modélisé les zones à risque d'inondation dans la ville de Copenhague au Danemark en vue d'une évacuation d'urgence des populations vivant dans ces zones pendant la marée haute.

Aussi, Catryet al. (2018), ont eu recours à l'imagerie radar ALOS PALSAR en bande L pour pouvoir discriminer les surfaces humides ou en eau dans le but de caractériser et modéliser l'écologie des vecteurs du paludisme afin de définir des stratégies de lutte antivectorielle. Quant à Gnazale, (2020) et Xu Bing et al. (2004), ils ont utilisé la donnée RADAR ASTER-GDEM pour la détermination des zones de dépressions susceptibles de retenir des eaux souterraines ou de surface.

(Gaudarta et al. 2007) ont quant à eux utilisé cinq méthodes géostatistiques et comparer leurs résultats. Il s'agit de deux méthodes globales étudiées qui étaient: 1) le coefficient de Moran, le coefficient d'autocorrélation classiquement utilisé; 2) la statistique de Tango, la généralisation spatiale de la statistique du χ^2 . Les trois méthodes de détection locale étudiées étaient: 1) l'application locale du coefficient de Moran, introduite par Anselin; 2) la méthode de balayage, qui recherche des regroupements d'unités spatiales; 3) l'arbre de régression oblique, qui découpe la zone d'étude en sous-zones de risques différents. Les cinq méthodes ont été appliquées à la description de l'hétérogénéité spatiale du risque d'accès palustre dans un village hyper endémique, au Mali. Les résultats ont tous mis en évidence une hétérogénéité spatiale significative.

Ils affirment que ces méthodes peuvent être utilisées pour une étude préliminaire ou dans le cadre de la surveillance épidémiologique.

(Dechavanne, 2012) dans une étude combinée de l'hôte, du parasite et de leur environnement a pu mettre en évidence une forte concentration d'allèle « hot spot » dans la zone d'étude à partir d'un test d'autocorrélation. En effet, il s'est agi pour l'auteur de réaliser une cartographie de la répartition spatiale des allèles et analyser les formes de concentration (Hot spot ou non) dans l'espace d'étude.

Conclusion:-

L'objectif était de cartographier les zones de dépressions en lien avec le risqué d'accès palustre et ensuite analyser leur distribution spatiale par approche statistique spatiale à partir de l'exploitation de l'imagerie radar AlosPalsar Dem et des méthodes de statistiques spatiales. La présence de regroupements locaux a été observée plus en détail à l'aide de l'Indice Statistique de Moran pour évaluer l'intensité des points chauds (High-High Cluster) et des points froids (Low-Low cluster) sur l'ensemble de la zone d'étude. Ces points chauds et froids représentent des potentiels gîtes larvaires et augmentent le niveau de risqué d'accès palustre.

Cette méthode a permis de mettre en évidence les clusters spatiaux et évaluer leur degré de significativité. Le résultat a montré que la répartition spatiale des potentiels gîtes larvaire n'était pas aléatoire et donc fortement influence par la topographie. Ainsi, par cette étude, nous avons pu démontrer que les systèmes d'informations géographiques et la statistique spatiale en santé environnementale permet d'améliorer la description d'un fait de santé contribuant ainsi à développer la connaissance sur ces événements sanitaires, sur les populations et les territoires en vue d'une prise de décision optimale et efficace.

Références Bibliographiques:-

1. Bhatt S, Weiss DJ, Cameron E, Bisanzio D, Mappin B, Dalrymple U. (2015). The effect of malaria control on *Plasmodium falciparum* in Africa between 2000 and 2015. *Nature*, Vol 526, 8 October 2015. pp 207–211. pmid:26375008.
2. Brahmi N., Hatira A., Rabia M. C. (2010). Contribution de la télédétection et des systèmes d'information géographique à la prise en compte du risque de prolifération des *Aedes* dans les zones humides de Bizerte (Nord de la Tunisie) », *Physio-Géo*, Volume 4 | -1, 151-168.
3. Boussaa S. et Ali Boumezzough A. (2014). Identification et caractérisation des gîtes larvaires de phlébotomes (Diptera: Psychodidae) à Marrakech (Maroc), *Entomologie faunistique - Faunistic Entomology [Enligne]*, Volume 67 (2014), URL : <https://popups.uliege.be/2030-6318/index.php?id=2983>.
4. Catry T., Li Z., Roux E., Herbreteau V., Gurgel H., Mangeas M., Seyler and Dessay, N. (2018). Wetlands and Malaria in the Amazon: Guidelines for the Use of Synthetic Aperture Radar Remote-Sensing. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2018, 15, 468; doi:10.3390/ijerph15030468.
5. Dechavanne C. (2012). Construction de la réponse anticorps spécifique du paludisme chez le jeune enfant: étude combinée de l'hôte, du parasite et de leur environnement. *Médecine humaine et pathologie*. Université René Descartes - Paris V, 2012. Français. ffNNT: 2012PA05P608ff. fftel-00856581f
6. Fatima, M., Butt, I. & Arshad, S. Geospatial clustering and hot spot detection of malaria incidence in Bahawalpur district of Pakistan. *GeoJournal* (2021). <https://doi.org/10.1007/s10708-021-10535-x>.
7. Fakih C. (2014). Le paludisme en Côte d'Ivoire: état des lieux et stratégies de lutte. *Sciences pharmaceutiques*, thèse de doctorat; Université Bordeaux, ffDumas-01010221f, 144p.
8. Gaudarta J., Giorgib R., Poudiougou B., Tourec O., Ranqued S., Doumboc O. Et Demongeote. J. (2007). Détection de clusters spatiaux sans point source prédéfini: utilisation de cinq méthodes et comparaison de leurs résultats Spatial cluster detection without point source specification: the use of five methods and comparison of their results, *Revue d'Epidémiologie et de Santé Publique*, Volume 55, Issue 4, August 2007, Pages 297-306
9. Gorla S, Stempfelet M, de Crouy-Chanel P. (2011). Introduction aux méthodes statistiques et aux systèmes d'information géographique en santé environnement – Application aux études écologiques – Résultats 2010. Saint-Maurice: Institut de veille sanitaire; 2011. 65 p.
10. Gnazalé G. G. R. (2020). Apport de la géomatique à l'analyse et à la modélisation de l'impact des facteurs climatiques et environnementaux sur la prolifération des schistosomes en Côte d'Ivoire: cas de la région du bélier et du district de Yamoussoukro. Thèse de doctorat unique, Université Felix HOUPHOUËT BOIGNY d'Abidjan, 215 p

11. Hafeez, S., Amin, M. et Munir, B. A. (2017). Spatial mapping of temporal risk to improve prevention measures: A case study of dengue epidemic in Lahore. *Spatial and spatio-temporal epidemiology*, 21, 77–85. <https://doi.org/10.1016/j.sste.2017.04.001>.
12. INS. (2014). Résultats Recensement Général de la Population et de l'Habitat. Mémoire ORSTOM. n° 50. Paris. 391 pages.
13. McMichael A. J. Globalization, Climate Change, and Human Health. Review article, *The new england journal of medicine*, N Engl J Med 2013; 368:1335–43. PP. 1335–1343. pmid:23550671.
14. Mouchet J., Carnevale P., Coosemans M., Julvez J., Manguin S., Lenoble D.R., Sircoulon J. (2004). Biodiversité du paludisme dans le monde, éditions John Libbey, Paris, 2004, 428 p.
15. MSHP. (2016). Plan national de développement sanitaire 2016-2020, 88 p.
16. PNLP-CI. (2013). Directives de prise en charge du paludisme, 65p.
17. PNLP. (2020). Le Paludisme En Côte D'Ivoire, <http://www.pnlpcotedivoire.org/paludisme-en-cote-d-ivoire>. Consulté le 02 juin 2022.
18. Sánchez-Martin, J.-M. ; Rengifo-Gallego, J.-I. ; Blas-Morato, R. (2019). Analyse des points chauds par rapport à l'analyse des grappes et des valeurs aberrantes: une enquête sur le regroupement d'hébergements ruraux en Estrémadure (Espagne). *ISPR Int. J. Géoinf.* 2019, 8, 176. <https://doi.org/10.3390/ijgi8040176>
19. Thomas Balstrøm T. et David Crawford D. (2018). Arc-Malstrøm: Arc-Malstrøm: A 1D hydrologic screening method for stormwater assessments based on geometric networks, *Computers & Geosciences*, Volume 116, 2018, pp 64-73, ISSN 0098-3004, <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2018.04.010>.
20. WHO. (2020). World malaria report 2020: 20 years of global progress and challenges. Geneva: World Health Organization; 2020. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO, 300 p.
21. WHO. (2015). World Malaria Report 2015 Geneva: World Health Organization, 2015. Available from: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs094/en/>
22. Xu B., Gong P., Biging G., Liang S., Seto E., Spear R. (2004). Remote sensing and geographic information systems in the spatial temporal dynamics modeling of infectious diseases. *Science in China Series C: Life Sciences* 2006 Vol.49, No 6, pp.573-582.