

Cartographie des zones à risque d'inondation et analyse de la vulnérabilité dans la commune d'Abobo, Côte d'Ivoire.

Résumé : La commune d'Abobo, située au nord du district d'Abidjan en Côte d'Ivoire, est fréquemment menacée par des inondations récurrentes ces dernières décennies. De nombreuses études ont identifié divers facteurs cruciaux dans le risque d'inondation de la commune, incluant la pente, l'intensité des précipitations, la densité du réseau de drainage, l'utilisation et l'occupation des sols, ainsi que la densité de population, etc. L'objectif général de cette présente étude est d'établir une carte des risques d'inondation pour la commune d'Abobo afin de faciliter la prévention et la gestion efficaces des inondations sévères. Pour ce faire, les techniques et données employées comprennent la télédétection, les Systèmes d'Information Géographique (SIG), l'Analyse Multicritère de Saaty, notamment, le traitement d'images OLI de Landsat, des Modèles Numériques de Terrain (MNT), ainsi que des données pluviométriques et démographiques. Les analyses cartographiques réalisées à l'aide des logiciels Arc GIS Pro et ENVI 5.3 ont permis d'établir les différentes cartes de l'étude, notamment celles des risques d'inondation et de vulnérabilité. Les cartes des aléas et des vulnérabilités produites ont été intégrées dans le SIG pour cartographier les zones à risque d'inondation dans la commune d'Abobo. Il en ressort cinq principales classes de risques d'inondation ou catégories, allant de très faible à très fort risque. Cette carte des risques constitue un outil d'aide à la décision précieux pour la prévention et la gestion du risque d'inondation dans la commune d'Abobo.

Mots-clés : Inondation, Cartographie, image satellite, pluviométrie, occupation des sols

Abstract : The commune of Abobo, located in the north of the Abidjan district in Côte d'Ivoire, has been frequently threatened by recurrent floods in recent decades. Numerous studies have identified various crucial factors in the flood risk of the commune, including slope, rainfall intensity, drainage network density, land use and occupation, as well as population density, etc. The overall objective of this study is to establish a flood risk map for the commune of Abobo to facilitate the effective prevention and management of severe floods. To achieve this, the techniques and data employed include remote sensing, Geographic Information Systems (GIS), Saaty Multi-Criteria Analysis, in particular, Landsat OLI image processing, Digital Elevation Models (DEM), as well as rainfall and demographic data. Cartographic analyses carried out using Arc GIS Pro and ENVI 5.3 software were used to produce the various maps used in the study, including flood risk and vulnerability maps. The hazard and vulnerability maps produced were integrated into the GIS to map flood risk areas in the municipality of Abobo. This resulted in five main flood risk classes or categories, ranging from very low to very high risk. This risk

map is a valuable decision-making tool for flood risk prevention and management in the municipality of Abobo.

Keywords: Flood, cartography, satellite image, rainfall, land use

1. Introduction : Les villes à travers le monde connaissent une expansion rapide et une métamorphose urbaine sans précédent, ce qui les confronte à des défis majeurs liés aux inondations, souvent exacerbés par une croissance démographique rapide et une urbanisation non planifiée. Dans ce contexte, la **cartographie des zones à risque d'inondation** s'impose comme un outil essentiel pour la gestion et la prévention des catastrophes. Elle permet une meilleure compréhension des dynamiques d'inondation, l'identification des zones vulnérables et le développement de stratégies efficaces d'aménagement du territoire et de gestion des risques. Cette étude vise à minimiser l'impact des inondations et à protéger la population et les infrastructures locales. De nombreuses études à travers le monde ont montré la récurrence des inondations, notamment en Afrique de l'Ouest. Parmi ces auteurs, on peut Kounghbanane et al., 2019, au Togo, Boyossoro et al., 2023 au Mali; (Kangah et Della, 2015); N'guessan et al., 2014 en Côte d'Ivoire,

La commune d'Abobo, située dans le district d'Abidjan en Côte d'Ivoire, est particulièrement touchée par des inondations récurrentes. Ces événements sont principalement attribuables à des facteurs physiques tels que les **fortes pluies et la densité du drainage**, ainsi qu'à des facteurs anthropiques comme **l'urbanisation non planifiée et la mauvaise gestion des déchets**. Les conséquences de ces inondations sont multiples et graves, incluant des pertes de vies humaines, des dégâts matériels, des pertes économiques significatives et la propagation de maladies.

La présente étude a pour but de **contribuer à l'amélioration de la résilience des populations face aux inondations**. Elle vise à mettre en œuvre des méthodes de cartographie des zones à risque d'inondation pour soutenir les décideurs dans l'intégration de la prévention des risques dans les politiques et stratégies d'aménagement urbain. L'objectif général est de participer à l'établissement d'un processus de prévention et de gestion efficace des inondations pour un développement urbain durable. Les objectifs spécifiques incluent la réalisation de la carte des aléas d'inondation, la carte des vulnérabilités à l'inondation, et la carte des risques d'inondation de la commune. Les hypothèses de travail sont que la télédétection, les Systèmes d'Information Géographique (SIG) et l'analyse multicritère sont des techniques et méthodes permettant l'identification des zones à risque d'inondation, et que la combinaison des aléas et des vulnérabilités permet l'évaluation de ces risques.

2. Matériel et Méthodes :

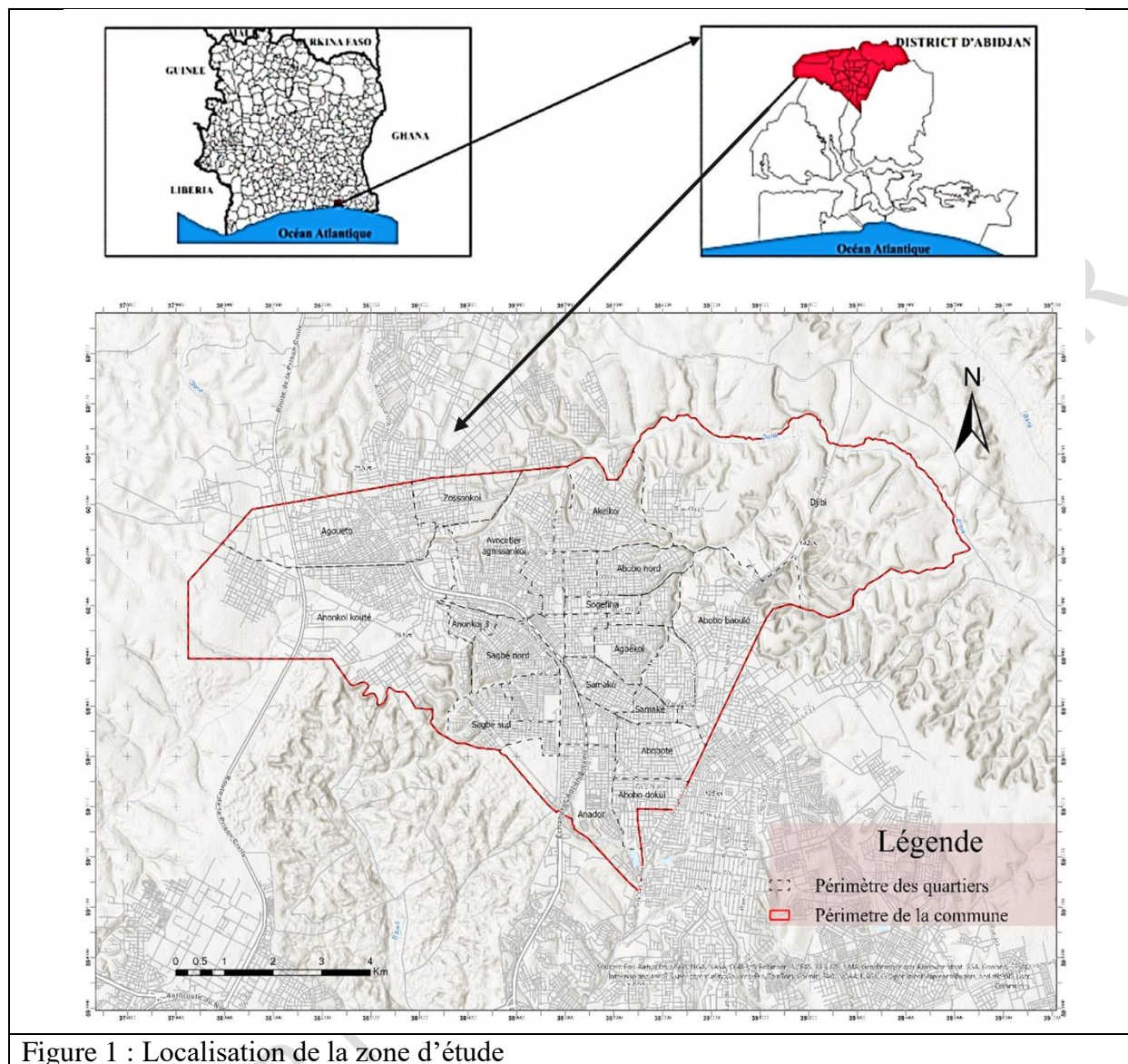
2.1 Zone d'étude : Abobo est un ancien village devenu l'une des treize communes du district d'Abidjan, en Côte d'Ivoire. C'est l'une des communes les plus densément peuplées du district,

abritant environ **1 500 000 habitants** sur une superficie de **9 000 ha (90 km²)**, soit une densité de 166 habitants par hectare. Située à une altitude d'environ 125 mètres, Abobo représente la zone la plus élevée de l'agglomération d'Abidjan. Son territoire communal est un vaste plateau bordé par des talwegs, couvrant près de 2 460 hectares (soit 23 % de la superficie communale). Les eaux de ruissellement de la commune s'écoulent principalement vers les rivières Djibi et Banco, à partir des deux talwegs principaux de Sagbé Sud et Djibi (**figure1**).

Le climat d'Abobo est caractérisé par une saison pluvieuse (du 9 mars au 9 novembre) qui est chaude et nuageuse, et une saison sèche (du 9 novembre au 9 mars) qui est très chaude et partiellement nuageuse. La température moyenne annuelle varie généralement de 22 °C à 32 °C. La probabilité de précipitations quotidiennes varie énormément, le mois de juin étant le plus pluvieux avec une moyenne de 22,2 jours de précipitations d'au moins 1 millimètre, tandis que janvier est le plus sec avec 1,7 jour. Le niveau d'humidité perçue est élevé et relativement constant tout au long de l'année, se maintenant à 95 % ± 5 %.

Géographiquement, Abobo se trouve à 5,416° de latitude et -4,016° de longitude, avec une altitude de 105 mètres. La topographie présente des variations légères d'altitude dans un rayon de 3 kilomètres (maximum 90 mètres, moyenne 107 mètres), et des variations plus importantes dans un rayon de 80 kilomètres (jusqu'à 258 mètres). Les surfaces artificielles couvrent 99 % de la région dans un rayon de 3 kilomètres, tandis qu'à 16 kilomètres, elles représentent 37 % avec 24 % de terres cultivées.





92

93 **2.2 Matériel de l'étude :** Pour cette étude, les données et les outils suivants ont été utilisés :

94 **2.2.1 Données:**

95 **Images satellites Landsat 9 :** Téléchargées depuis le site officiel américain USGS
 96 (EarthExplorer). Le fichier LC09_L2SP_196056_20220120_20230430_02_T1 a été capturé le
 97 20 janvier 2022 avec le capteur OLI_TIRS. Ces images ont une résolution de 30 mètres pour les
 98 bandes réfléchissantes et thermiques, une couverture nuageuse totale de 5,34 % (1,72 % sur les
 99 terres), et utilisent la projection UTM avec le datum et l'ellipsoïde WGS84, zone 30N. Elles
 100 incluent 7 bandes de réflectance de surface et 1 bande thermique.

101 **Modèle Numérique de Terrain (MNT)** : Deux fichiers SRTMHGT compressés
102 (NN05W004SRTMGL1.hgt.zip et NN05W005SRTMGL1.hgt.zip) couvrant la zone d'étude, avec
103 une résolution d'une seconde d'arc (30m) et une projection latitude/longitude (EPSG:4326),
104 téléchargés depuis les serveurs de la NASA.

105 **Données pluviométriques** : 48 données de précipitations par satellite au format Geotiff
106 multidimensionnel, chaque image correspondant aux précipitations mensuelles moyennes de
107 septembre 2020 à septembre 2024, téléchargées depuis le portail de données CHRS de l'UCI
108 (chrsdata.eng.uci.edu).

109 **2.2.2 Outils utilisés :**

110 **ENVI (Environment for Visualizing Images)** : Utilisé pour le traitement d'images de
111 télédétection satellitaire et aérienne, l'analyse hyperspectrale et les données SAR. Il offre des
112 outils d'analyse interactive et une interface complète.

113 **ArcGIS (Environmental Systems Research Institute)** : Logiciel leader sur le marché des SIG,
114 utilisé pour la visualisation, la modification, la gestion et l'analyse de données géographiques,
115 ainsi que la cartographie sur diverses plateformes. Il inclut des outils comme ArcMap et
116 ArcCatalog, et ArcGIS Pro pour le traitement 64 bits et la 3D intégrée.

117 **Microsoft Excel** : Un tableur pour le calcul, l'analyse et la visualisation de données, avec des
118 feuilles de calcul structurées, des formules et des fonctions, et des capacités de création de
119 graphiques et de tableaux croisés dynamiques.

120 **Ordinateur portable** : Un HP (Hewlett-Packard) avec un processeur Intel(R) Core(TM) i5-
121 6300U à 2.40GHz (2.50 GHz), 8.00 Go de RAM installée (7.88 Go utilisables), et un système
122 d'exploitation 64 bits sous Windows 11.

123 **2.3 Méthode** : Le processus méthodologique suivi dans cette étude pour la cartographie des
124 zones à risque d'inondation s'articule autour de plusieurs étapes clés, combinant la télédétection,
125 les SIG et l'analyse multicritère.

126 **2.3.1 Carte occupation des sols :**

127 **Acquisition des images satellites** : Les images Landsat 9 ont été obtenues via la plateforme
128 EarthExplorer de l'USGS.

129 **Prétraitement (ENVI)** : Cette phase a consisté à modifier le fichier des métadonnées MTL pour
130 assurer la compatibilité (remplacement de "LANDSAT" par "L1" et "LANDSAT_9" par
131 "LANDSAT_8"). Des corrections radiométriques ont été appliquées pour convertir les valeurs en
132 luminance spectrale, améliorant la qualité de l'image. Ensuite, une correction atmosphérique
133 (FLAASH) a été réalisée pour obtenir des images de réflectance avec des valeurs entre 0 et 1,
134 produisant un effet réaliste sur les bandes. Enfin, une calibration de la réflectance a été effectuée
135 à l'aide d'une formule spécifique pour éliminer les valeurs négatives et obtenir une calibration
136 parfaite entre 0 et 1.

Traitements (ENVI Classic et Arc GIS Pro) : Les images corrigées ont été chargées dans ENVI Classic, où une composition colorée (proche infrarouge, rouge, vert) a été appliquée. La zone d'étude (commune d'Abobo) a été extraite. Des zones d'entraînement (ROI) ont été choisies pour chaque classe (sols nus, habitats, végétations, eau) afin d'entraîner l'algorithme. Une classification supervisée par la méthode du "Maximum de vraisemblance" a été réalisée. L'évaluation de la classification a été faite via une matrice de confusion et le calcul du coefficient Kappa, qui a atteint 99,5261 %, indiquant une très bonne classification. Une analyse de majorité/minorité a été appliquée pour lisser et rendre l'image plus esthétique. De nouveaux ROI ont été créés à partir du résultat de cette analyse. Le rapport des surfaces d'occupation du sol a été généré. Enfin, le fichier a été exporté au format ShapeFile, importé dans ArcGIS Pro, et converti en raster pour le rendu final de la carte.

2.3.2 Carte des pentes :

Les deux fichiers MNT (N05W004 et N05W005) couvrant la zone ont été importés dans ArcGIS. Ils ont été fusionnés en un seul raster. Le MNT de la commune d'Abobo a ensuite été extrait en utilisant le fichier SHP de la zone. La carte des pentes a été générée à partir du MNT extrait, et des couleurs ont été appliquées en fonction du niveau des pentes.

2.3.3 Carte des densités de drainage :

Le fichier MNT a été importé dans ArcGIS. Les étapes de traitement hydrologique suivantes ont été appliquées : "Fill" pour supprimer les dépressions, "Flow Direction" pour déterminer la direction de l'écoulement, "Flow Accumulation" pour calculer l'accumulation du flux, "Conditional" pour appliquer des conditions, et "Stream Order" pour déterminer l'ordre des cours d'eau. Les bassins versants de la commune ont été identifiés. Le résultat du "Stream Order" a été converti du format raster au format vecteur ("Stream to Feature"). Enfin, la densité de drainage a été calculée et la symbologie ajustée pour visualiser le réseau hydrographique.

2.3.4 Carte d'intensité pluviométrique :

Les fichiers de pluviométrie multidimensionnels au format Geotiff ont été importés. La zone d'intérêt (Abobo) a été extraite. Les pixels du raster ont été convertis en cellules, puis en points. Ces points ont ensuite été reprojetés dans le système de coordonnées UTM 30N. Une interpolation IDW (Inverse Distance Weighting) a été appliquée pour générer la carte d'intensité pluviométrique.

2.3.5 Carte de densité de la population :

Cette carte a été élaborée en se basant sur les résultats de recherches antérieures et d'une étude spécifique sur la commune d'Abobo.

2.3.6 Carte des risques d'inondation :

La méthode de Hiérarchisation Multicritère (MHM) de Saaty a été utilisée pour pondérer l'importance relative des différents facteurs.

2.3.7 Carte des Aléas d'inondation : Les aléas (menaces naturelles) ont été définis par la pente du terrain, l'intensité pluviométrique et la densité de drainage. La carte a été réalisée en combinant ces facteurs à l'aide de l'outil "WeightedSum" et de la formule : Aléa inondation = $0,176 * Dd$ (densité de drainage) + $0,303 * P$ (pente) + $0,521 * IP$ (intensité pluviométrique).

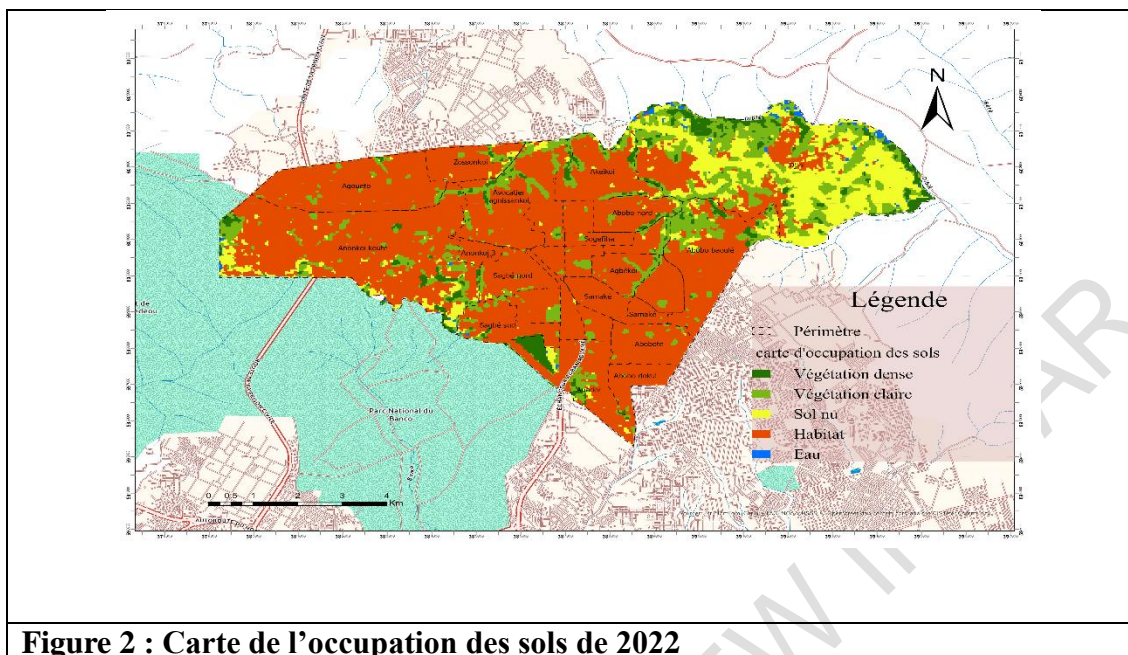
2.3.8 Carte de vulnérabilité aux inondations : La vulnérabilité (condition qui prédispose aux préjudices) a été définie par des facteurs physiques, sociaux, économiques ou environnementaux. La carte a été générée par combinaison de l'occupation des sols (Db) et de la densité de la population (Dp) via l'outil "WeightedSum" et la formule : Vulnérabilité = $0,125 * Db + 0,875 * Dp$.

2.3.9 Carte des risques d'inondation : Le risque, défini comme l'interaction entre un aléa et la vulnérabilité des éléments exposés, a été calculé en multipliant les cartes d'aléas et de vulnérabilité : Risque = Aléa x Vulnérabilité. L'outil "WeightedSum" a été utilisé pour obtenir la carte finale des risques d'inondation dans la commune d'Abobo.

3. Résultats et Discussions

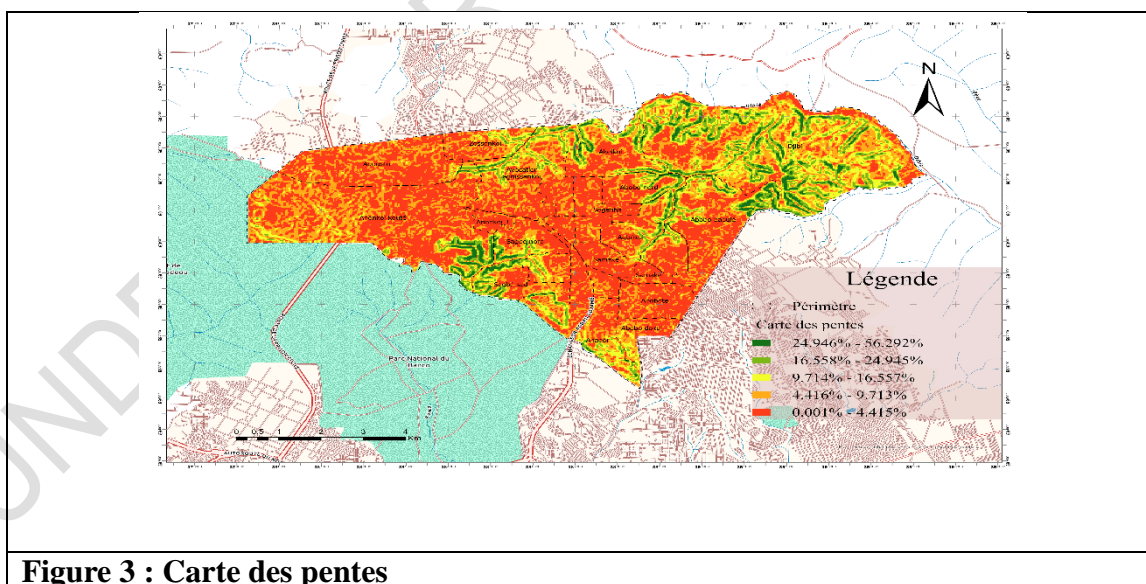
3.1 Résultats Les analyses cartographiques ont permis d'obtenir les résultats suivants :

Carte d'occupation des sols : Plus de **66 % de la surface de la commune est constituée d'habitations**, avec très peu d'étendues d'eau. La végétation claire et dense représente plus de 20 % et le sol nu 13 % de la superficie (**figure2**).



198

199 **Carte des pentes** : La commune est majoritairement composée de **faibles pentes (de l'ordre de**
 200 **4 %)** sur **près de la moitié de sa zone (43,47 %)**, principalement dans les zones habitées ce qui
 201 favorise l'accumulation d'eau et augmente les risques d'inondation. Et un faible taux de
 202 pentes fortement inclinées est observé (figure 3).



203

Carte des densités de drainage : Les densités de drainage sont plus intenses dans les zones de Samaké, Abobo Baoulé, Agbékoi, Djibi, Abobo Nord, Avocatier Agnissankoi, AnonkoiKouté et Sagbé Nord, indiquant un **flux important de ruissellement** dans ces secteurs (**figure 4**).

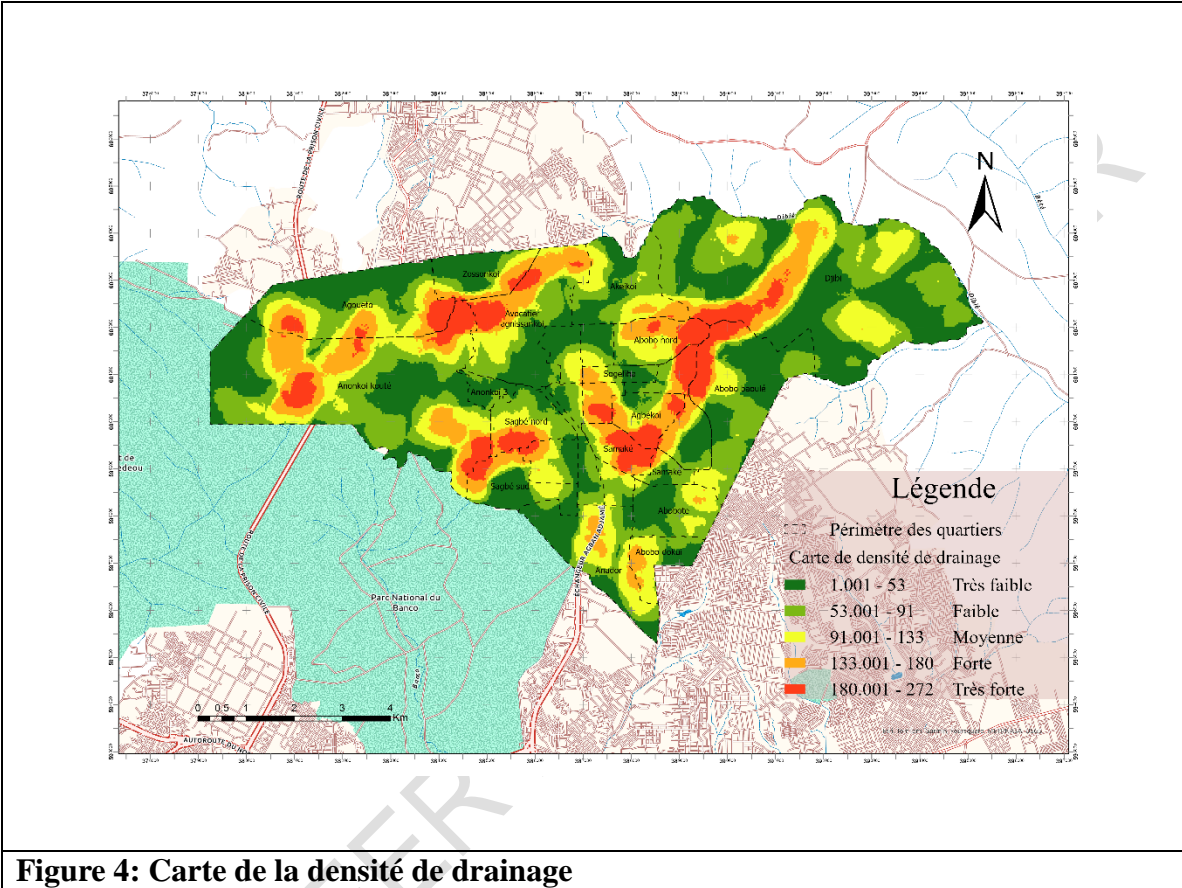
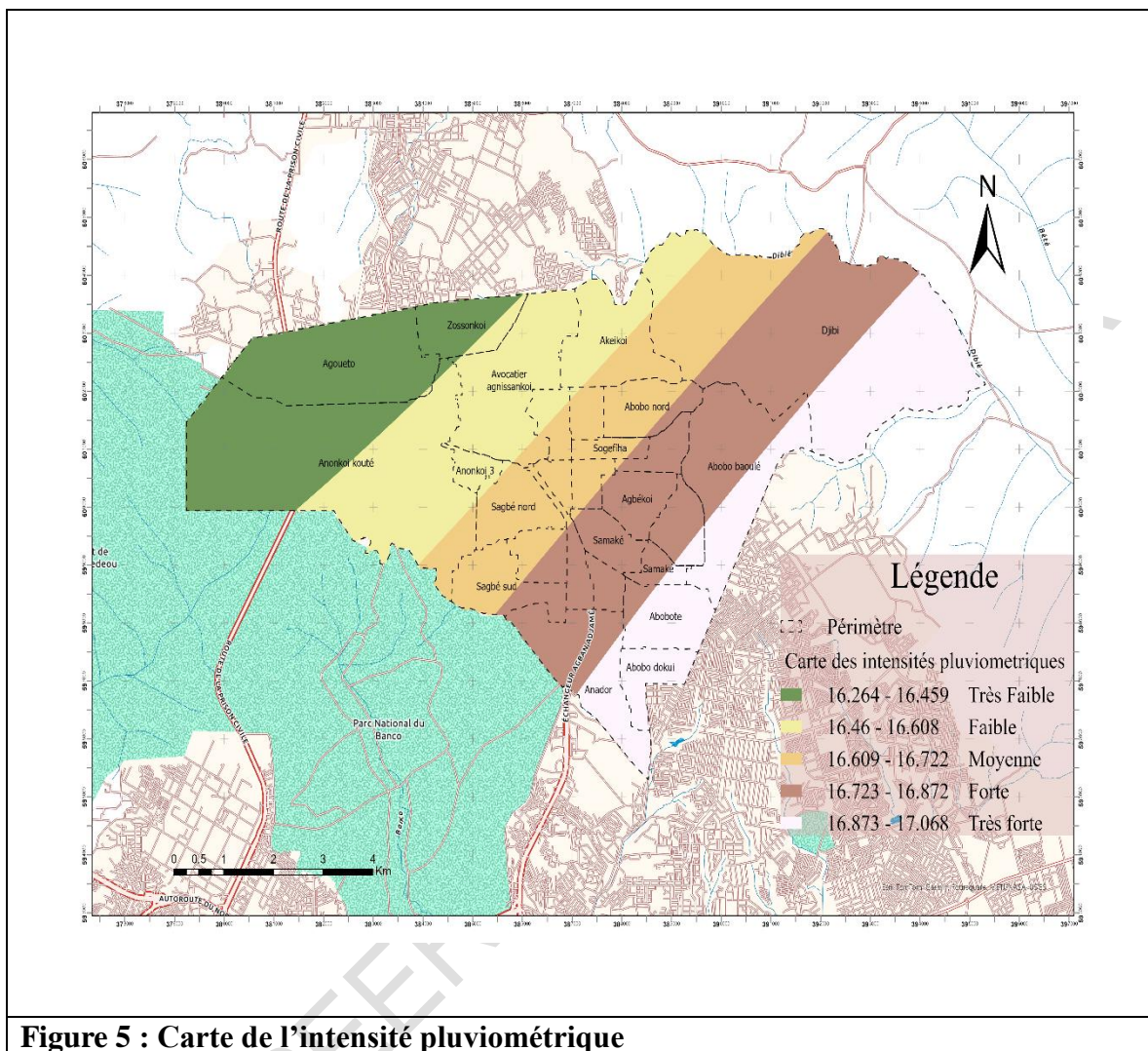


Figure 4: Carte de la densité de drainage

Carte d'intensité pluviométrique : L'intensité pluviométrique de la commune est globalement constante, avec une légère élévation au Sud-Est de la zone (6).



Carte de densité de la population : La population est plus dense au centre de la commune, montrant une **inéga**le répartition concentrée dans le centre-ville (**figure 6**).

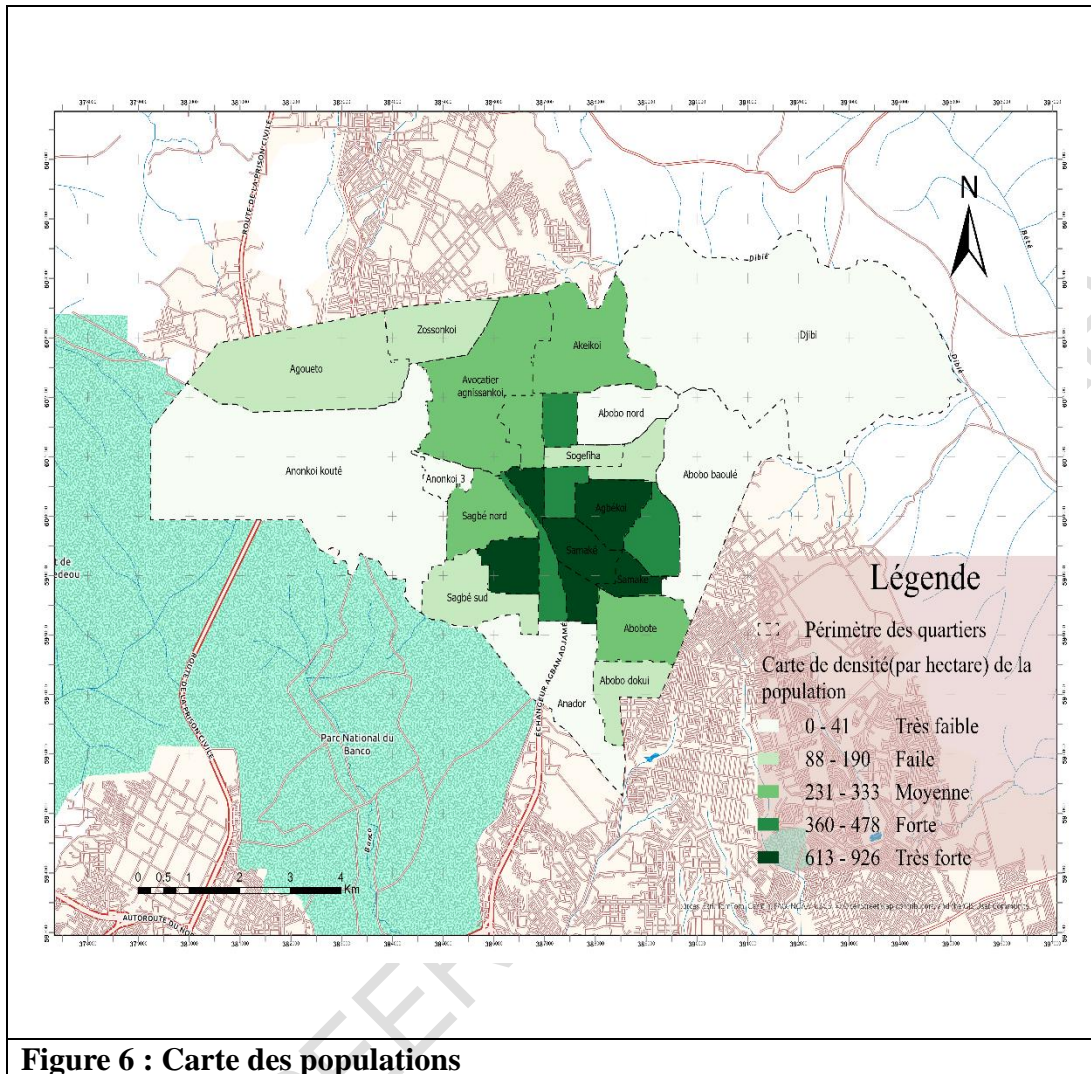
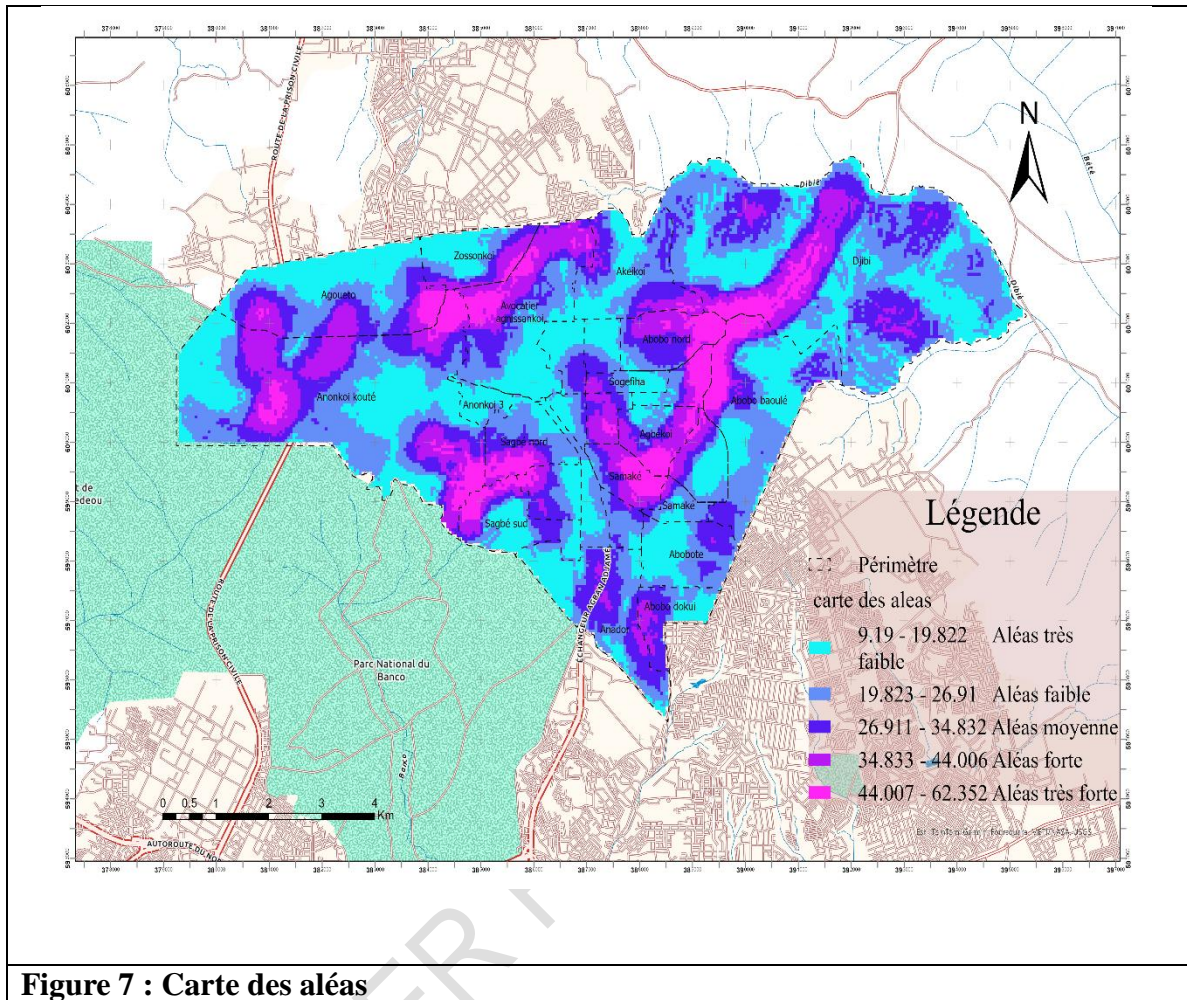


Figure 6 : Carte des populations

224 **Carte des aléas** : Les zones de Samaké, Agbekoi, Abobo Baoulé, Djibi, Sagbé et Avocatier
 225 Agnissankoi sont les plus influencées par les phénomènes hydro-climatiques. Les résultats
 226 indiquent qu'environ **30 % de la commune est sensible aux phénomènes**
 227 **d'inondations**(figure).



Carte des vulnérabilités : Les zones les plus vulnérables sont les zones centrales de la commune (figure 8).

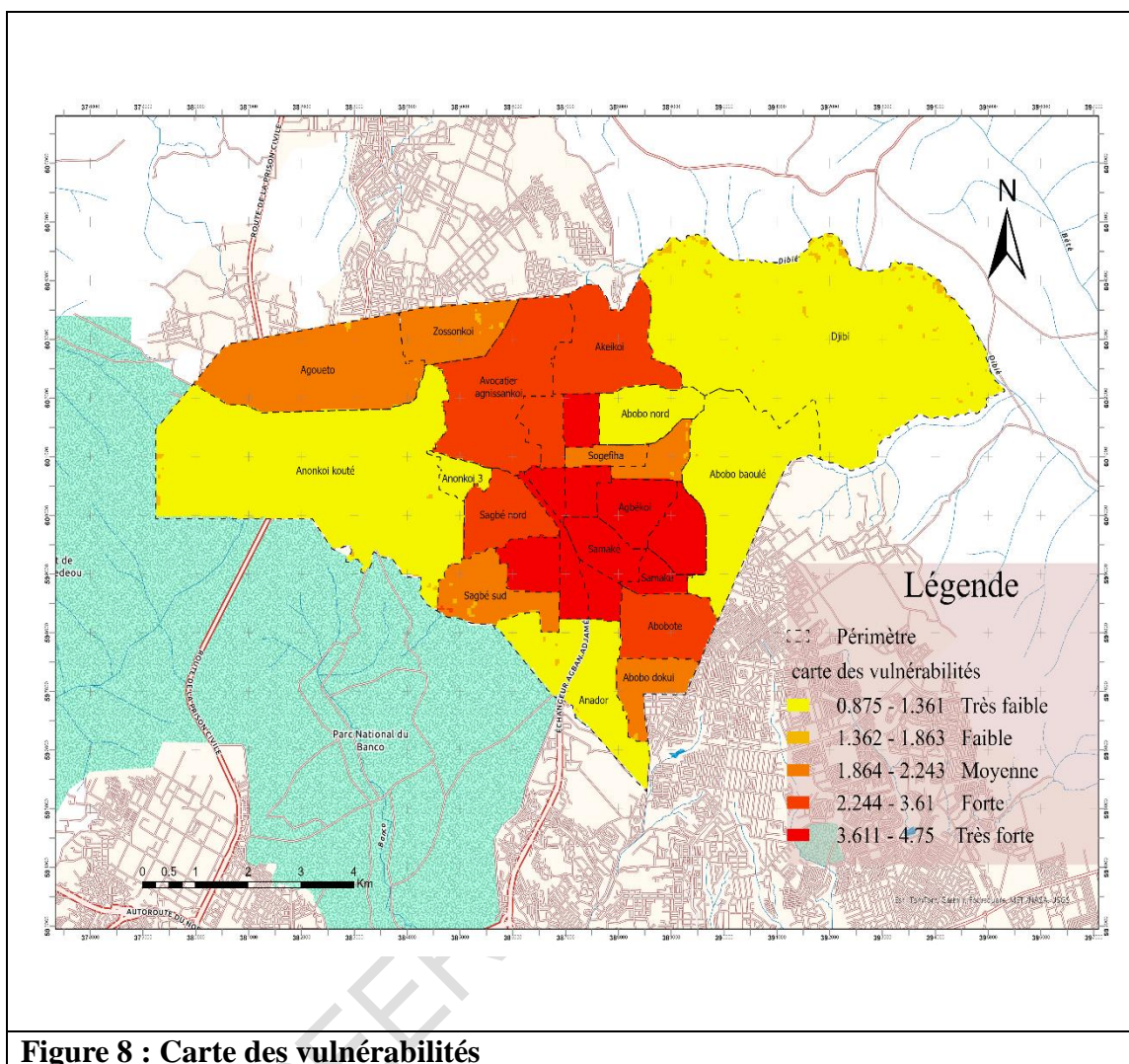


Figure 8 : Carte des vulnérabilités

Carte des risques d'inondation : Les zones de Samaké, Agbékoi, Sagbé Nord et Avocatier Agnissankoi présentent les risques d'inondation les plus élevés de la commune (**figure 9**).

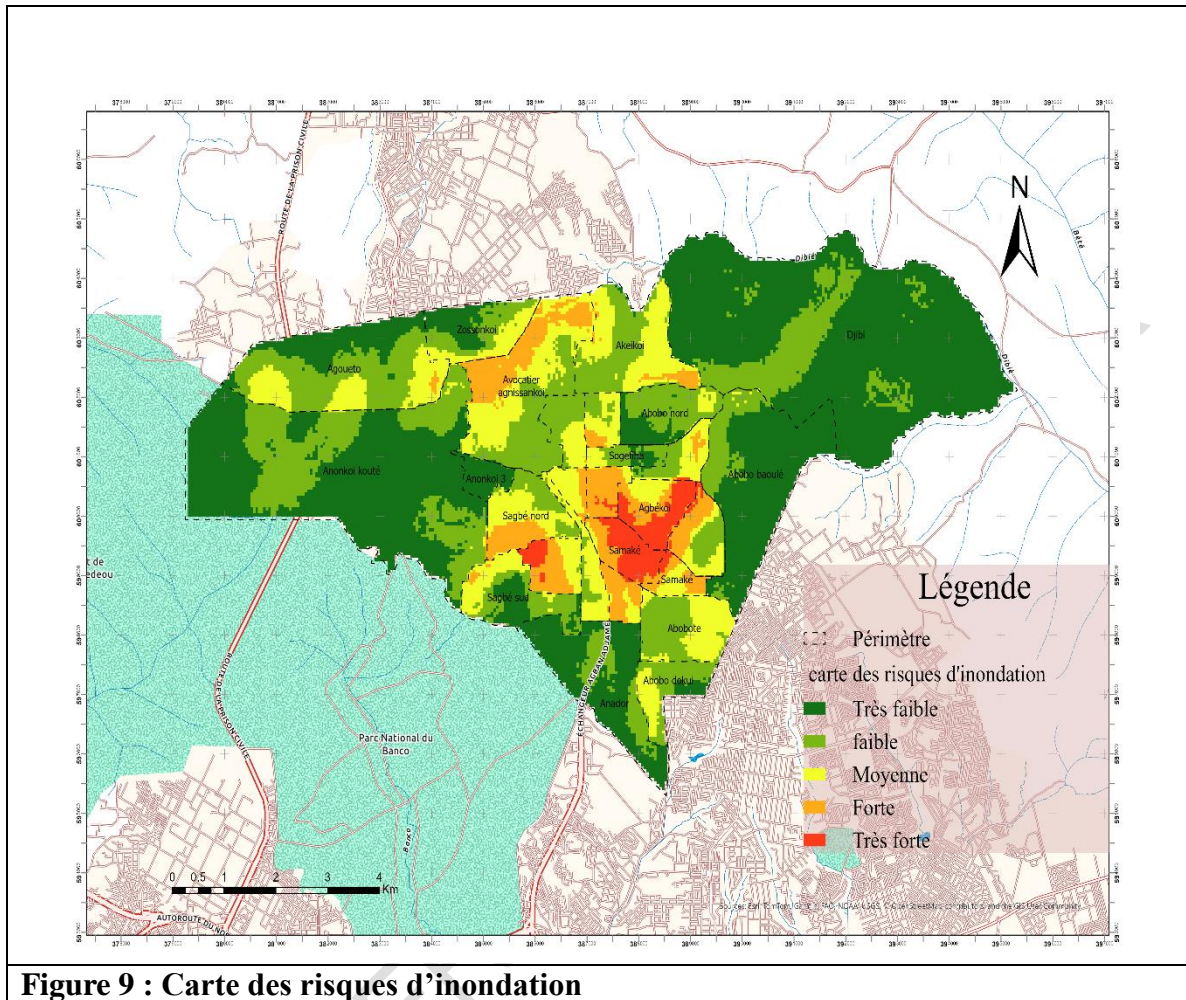


Figure 9 : Carte des risques d'inondation

246

247 **3.2 Discussions** La prévention des risques d'inondation est une composante cruciale de la gestion
 248 globale des risques. Les facteurs d'aléas (pentes, densité de drainage, intensité pluviométrique) et
 249 de vulnérabilité (occupation des sols, densité de population) identifiés dans la commune d'Abobo
 250 sont confirmés par la carte d'aléa à l'inondation. Le fait qu'environ 30 % de la commune soit
 251 sensible aux inondations s'explique par la faible inclinaison des pentes, le drainage insuffisant et
 252 la forte intensité des précipitations. Ces observations sont en accord avec les études menées par
 253 Kouassi et al. (2021) sur la commune d'Abobo.

254 La carte des vulnérabilités révèle que les zones les plus vulnérables sont les zones centrales de la
 255 commune. Ces résultats sont corroborés par l'article de Kouame et al. (2023) traitant de la
 256 cartographie du risque d'inondation à Cocody et Abobo.

257 La combinaison de l'analyse multicritère de Sadat et des SIG a été déterminante pour l'obtention
 258 de la carte des zones à risque d'inondation. L'analyse de cette carte a permis de comprendre que
 259 les zones à risques très élevés d'inondation se situent au centre de la commune, notamment dans
 260 les quartiers de Samaké et Agbékoi. Ces conclusions sont cohérentes avec celles d'une étude

précédente de Kouassi et al. (2021) sur l'apport de la géomatique et de l'analyse multicritère pour l'évaluation et la prévention à Abobo.

L'efficacité des techniques de télédétection et des Systèmes d'Information Géographique (SIG) appliquées dans cette étude pour cartographier les zones vulnérables aux inondations est bien établie. Ces technologies ont également été employées dans de nombreuses autres études sur les risques d'inondation en Côte d'Ivoire et ailleurs, comme celles de Vami Herman N'guessan Bi Bachir Saley (2014) pour le département de Sinfra, d'Armand Kangah et André Alla Della (2015) pour le bassin-versant de Bonoumin-Palmeraie à Cocody, et de Mahaman Bachir Saley et al. (2005) pour la région semi-montagneuse à l'ouest de la Côte d'Ivoire. L'association de l'analyse multicritère de Saaty avec les SIG est une approche reconnue et utilisée par d'autres chercheurs pour l'identification des zones à risque d'inondation, notamment par Kouame et al. (2023), Kouadio Boyossoro Hélène et al. (2023) pour la région de Man, Brou Kamenan Marcel et al. (2022) pour les quartiers de Gonzagueville et Jean-Folly à Port-Bouët, et Kouassi et al. (2021) pour la commune d'Abobo.

4. Conclusion La cartographie des zones à risque d'inondation dans la commune d'Abobo est une démarche cruciale pour une gestion et une prévention efficace des risques. Elle offre une compréhension approfondie des zones vulnérables et des facteurs qui contribuent aux inondations, permettant ainsi une planification urbaine plus efficace et une gestion des ressources mieux adaptée. L'utilisation des techniques de télédétection, des Systèmes d'Information Géographique (SIG) et de l'analyse multicritère a permis d'obtenir les cartes des aléas et des vulnérabilités à l'inondation, dont la combinaison a mené à la carte des zones à risque d'inondation de la commune. Cette carte est un outil essentiel pour identifier les zones les plus exposées aux dangers d'inondation, soulignant l'urgence de la mise en place de mesures préventives.

Pour l'avenir, une perspective envisagée est l'intégration des cartes élaborées dans une plateforme numérique. Cela permettrait un suivi en temps réel des risques d'inondation pour la commune d'Abobo, améliorant ainsi la gestion des situations d'urgence et renforçant la résilience face aux inondations.

Bibliographie

- "Abobo — Wikipédia." Accessed: Dec. 25, 2024. [Online]. Available: <https://fr.wikipedia.org/wiki/Abobo>
- DEMBELE, A. DEMBELE, A. TOURE, and B. DEMBELE, "Implementation of a GIS Database for the Management of the Road Network," Int. J. Sci. Res., vol. 12, no. 10, pp. 1089–1094, 2023, doi: 10.21275/sr231012110051.
- "30-Meter SRTM Elevation Data Downloader." Accessed: Nov. 19, 2024. [Online]. Available: <https://dwtkns.com/srtm30m/>
- "CHRS Data Portal." Accessed: Dec. 25, 2024. [Online]. Available: <https://chrsdata.eng.uci.edu/>
- Climat, météo par mois, température moyenne pour Abobo (Côte d'Ivoire) - WeatherSpark." Accessed: Nov. 19, 2024. [Online]. Available:

<https://fr.weatherspark.com/y/35112/Météo-moyenne-à-Abobo-Côte-d'Ivoire-tout-au-long-de-l'année#Sections-BestTime>.

- "Earth Explorer." Accessed: Nov. 19, 2024. [Online]. Available: <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- M. B. Saley, F. K. Kouamé, M. J. Penven, J. Biémi, and H. Boyossoro Kouadio ? (2005.) "Cartographie Des Zones À Risque D ' Inondation Dans La Région Semi-Montagneuse À Louest De La Côte D'Ivoire : Apports Des Mna Et De L ' Imagerie Satellitaire," Télédétection, vol. 5, no. 1-2-3, pp. 53-67,
- K. D. KOUASSI, B. H. KOUADIO, D. A. ALLA, M. B. SALEY, and H. A. DIABY ? (2021) . "Apport de la géomatique et de l'analyse multicritère pour l'évaluation et la prévention du risque dans la commune d'Abobo (Abidjan, Côte d'Ivoire)," Rev. Can. Géographie Trop., vol. 8, no. 1, pp. 31-37,.
- M. K. Kouame, J. C. Y. Boyossoro Hélène Kouadio, and B. et al Jean ? (2023) "Cartographie du risque d ' inondation a cocody et abobo-abidjan (côte d ' ivoire)'," Ed. Francoph. Univ. d'Afrique, no. Juillet, pp. 430-447.
- M. Tanguy. (2012.). Cartographie Du Risque D'Inondation En Milieu Urbain Adaptée À La Gestion De Crise.
- V. Herman N 'guessan, B. B. Saley, D. E. Valere, F. Kouame, and K. Affian, (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 Cote D 'Ivoire)," Eur. Sci. J., vol. 1010, no. 22, pp. 1857-7881,.
- Kangah and A. A. Della. (2015). "Détermination des zones à risque d'inondation à partir du modèle numérique de terrain (MNT) et du système d'information géographique (SIG): Cas du bassin-versant de Bonoumin-Palmeraie (commune de Cocody, Côte d'ivoire)," Geo. Eco. Trop., vol. 39, no. 2, pp. 297-308.